



**SKRIPSI**

**STUDI FISISORPSI HIDROGEN PADA  
KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU**

MASRUL HIDAYATULLAH  
NRP 1412 100 058

Dosen Pembimbing  
Nurul Widiastuti, Ph.D.

JURUSAN KIMIA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**FINAL PROJECT**

**STUDY OF HYDROGEN PHYSISORPTION  
ON ACTIVATED CARBON FROM BAGASSE**

MASRUL HIDAYATULLAH  
NRP 1412 100 058

Supervisor  
Nurul Widiastuti, Ph.D.

CHEMISTRY DEPARTMENT  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**STUDI FISISORPSI HIDROGEN PADA KARBON AKTIF  
DARI AMPAS TEBU**

**SKRIPSI**

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Program Studi S-1  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Disusun Oleh :

**MASRUL HIDAYATULLAH**  
**NRP. 1412 100 058**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**

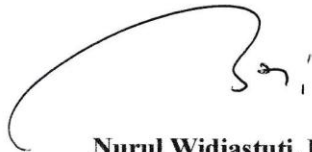
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI FISISORPSI HIDROGEN PADA KARBON AKTIF**  
**DARI AMPAS TEBU**

**SKRIPSI**

Disusun Oleh :  
**MASRUL HIDAYATULLAH**  
**NRP. 1412 100 058**

**Surabaya, 3 Agustus 2016**

**Menyetujui,**  
**Dosen Pembimbing**



**Nurul Widiastuti, Ph.D.**  
**NIP. 19710425 199412 2 001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Kimia**



**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc.**  
**NIP. 19710616 199703 1 002**

## **STUDI FISISORPSI HIDROGEN PADA KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU**

Nama : Masrul Hidayatullah  
NRP : 1412 100 058  
Jurusan : Kimia FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Nurul Widiastuti, Ph.D

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar kapasitas adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada karbon aktif hasil sintesis dari ampas tebu yang diaktivasi dengan KOH pada variasi rasio karbon/KOH 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4. Karbon aktif disintesis menggunakan metode karbonisasi pada suhu 800 °C dengan atmosfer gas nitrogen ( $N_2$ ) selama 2 jam. Hasil menunjukkan bahwa luas permukaan tertinggi didapatkan pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:1 yakni sebesar 178 m<sup>2</sup>/g dengan diameter pori sebesar 2 nm. Setelah itu, karbon aktif dari ampas tebu diuji kapasitas adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada suhu 30 °C dengan tekanan 2 Pa. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada variasi rasio karbon/KOH 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4 berturut-turut sebesar 5,51% ; 11,15% ; 8,45% dan 6,02% berat. Kinetika adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada karbon aktif dari ampas tebu sesuai dengan model kinetika persamaan orde kedua Pseudo Lagergren pada sampel 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2. Konstanta laju adsorpsi yang diperoleh berdasarkan variasi rasio tersebut berturut-turut sebesar  $15 \times 10^{-5}$  ;  $7 \times 10^{-5}$  dan  $9 \times 10^{-5}$  g/mg.menit. Sedangkan pada sampel 1:4 sesuai dengan model kinetika Elovich dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,024 mg/g.menit.

**Kata kunci :** Fisisorpsi Hidrogen, Karbon Aktif, Ampas Tebu.

## **STUDY OF HYDROGEN PHYSISORPTION ON ACTIVATED CARBON FROM BAGASSE**

Name : Masrul Hidayatullah  
NRP : 1412 100 058  
Department : Chemistry FMIPA-ITS  
Advisor Lecturer : Nurul Widiastuti, Ph.D

### **Abstract**

This research aims to investigate the adsorption of hydrogen ( $H_2$ ) gases on activated carbon. The activated carbon was synthesized from bagasse and activated by KOH at various ratio of carbon/KOH ratio 1:0.5 ; 1:1 ; 1:2 and 1:4 and carbonisation temperature of 800 °C under nitrogen ( $N_2$ ) atmosfer for 2 hours. Results show that the highest spesific surface area was found at sample with carbon/KOH ratio of 1:1, which is 178 m<sup>2</sup>/g. The sample has pore diameter 2 nm. Adsorption capacity of hydrogen at various carbon/KOH ratio of 1:0.5 ; 1:1 ; 1:2 and 1:4 are 5,51%; 11,15%; 8,45% and 6,02% wt, respectively. The adsorption kinetics is best approximated by Pseudo-second-order Lagergren model for sample with carbon/KOH ratio of 1:0.5 ; 1:1 and 1:2, whereas for sample with carbon/KOH ratio of 1:4, Elovich model provides the best fit. Rate constant for sample with carbon/KOH ratio of 1:0.5 ; 1:1 and 1:2 are  $15 \times 10^{-5}$  ;  $7 \times 10^{-5}$  and  $9 \times 10^{-5}$  g/mgmin, and sample with carbon/KOH ratio of 1:4 0,024 mg/gmin.

**Keyword :** Hydrogen Physisorption, Activated Carbon, Bagasse

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	4
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Energi Gas Hidrogen.....	5
2.2 Prinsip Penyimpanan Gas Hidrogen .....	6
2.3 Material Berpori untuk Fisisorpsi Gas Hidrogen .....	7
2.4 Karbon Aktif .....	8
2.5 Sintesis Karbon Aktif.....	9
2.6 Kontrol Luas Permukaan Karbon Aktif melalui Aktivasi Kimia ....	11
2.7 Ampas Tebu .....	13
2.8 Studi Kinetika Adsorpsi Gas .....	14
2.8 Karakterisasi Karbon Aktif .....	14
2.8.1 Model Kinetika Orde Pertama Pseudo Lagergren.....	14
2.8.2 Model Kinetika Orde Kedua Pseudo Ho.....	14
2.8.3 Model Kinetika Elovich .....	15
2.8.4 Model Difusi Intrapartikel .....	15
2.9 Karakterisasi Karbon Aktif .....	15
2.9.1 SEM .....	15

2.9.2 Luas Permukaan Karbon Aktif (Teori BET) .....	17
2.10 Pengukuran Adsorpsi Gas Hidrogen dengan Metode Gravimetri ..	19

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....21**

3.1 Alat dan Bahan .....	21
3.1.1 Alat .....	21
3.1.2 Bahan .....	21
3.2 Prosedur Kerja .....	21
3.2.1 Sintesis Karbon dari Ampas Tebu .....	21
3.2.2 Aktivasi Karbon menjadi Karbon Aktif .....	22
3.2.3 Karakterisasi .....	22
3.2.4 Pengujian Kapasitas Penyimpanan Gas H <sub>2</sub> .....	22
3.2.5 Penentuan Kinetika Adsorpsi Gas H <sub>2</sub> .....	24

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....25**

4.1 Hasil Sintesis Karbon dari Ampas Tebu dan Aktivasinya .....	25
4.1.1 Hasil Sintesis Karbon .....	25
4.1.2 Hasil Aktivasi Karbon .....	27
4.2 Karakterisasi Karbon Aktif .....	30
4.3 Hasil Uji Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrogen .....	34
4.4 Kinetika Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif dari Ampas Tebu .....	37

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....43**

5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43

### **DAFTAR PUSTAKA .....45**

### **LAMPIRAN .....55**

### **BIOGRAFI PENULIS .....99**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen-komponen SEM (Egerton, 2008) .....	16
Gambar 2.2	Mikrograf SEM Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Huang dkk, 2011) .....	16
Gambar 2.3	Grafik BET .....	18
Gambar 3.1	Skema Alat Uji Kapasitas Penyimpanan Hidrogen pada Proses <i>Degassing</i> .....	23
Gambar 3.2	Skema Alat Uji Kapasitas Penyimpanan Hidrogen pada Proses Adsorpsi .....	24
Gambar 4.1	(a) Ampas tebu kering (b) Arang ampas tebu .....	25
Gambar 4.2	Karbon ampas tebu yang telah dihaluskan.....	26
Gambar 4.3	Hasil aktivasi karbon.....	28
Gambar 4.4	Mikrograf SEM dari sampel : (a) karbon aktif tanpa aktivasi, (b) karbon/KOH 1:0,5, (c) karbon/KOH 1:1 (d) karbon/KOH 1:2, (e) karbon/KOH 1:4 .....	31
Gambar 4.5	Grafik Isoterm Adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> (a) Karbon Aktif Tanpa Aktivasi (b) Karbon/KOH 1:1 .....	33
Gambar 4.6	Bentuk Pori Botol Tinta.....	34
Gambar 4.7	Grafik adsorpsi Gas H <sub>2</sub> .....	35
Gambar 4.8	Analisis regresi berdasarkan persamaan orde kedua semu pada sampel 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2.....	39
Gambar 4.9	Analisis regresi berdasarkan persamaan elovich pada sampel 1:4 .....	40
Gambar A.1	Skema Kerja Pembuatan Karbon dari Ampas Tebu .....	55
Gambar A.2	Skema Kerja Aktivasi Karbon .....	56
Gambar A.3	Skema Kerja Pencucian Karbon Aktif .....	57
Gambar A.4	Skema Kerja Pengujian Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> .....	57
Gambar C.1	Kurva kapasitas penyimpanan gas H <sub>2</sub> pada sampel dengan variasi rasio 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4 .....	67
Gambar D.1	Kinetika model orde pertama semu sampel 1:0,5 .....	72

Gambar D.2	Kinetika model orde pertama semu sampel 1:1	72
Gambar D.3	Kinetika model orde pertama semu sampel 1:2	73
Gambar D.4	Kinetika model orde pertama semu sampel 1:4	73
Gambar D.5	Kinetika model orde kedua semu sampel 1:0,5 ..	78
Gambar D.6	Kinetika model orde kedua semu sampel 1:1 .....	78
Gambar D.7	Kinetika model orde kedua semu sampel 1:2 .....	79
Gambar D.8	Kinetika model orde kedua semu sampel 1:4 .....	79
Gambar D.9	Kinetika model difusi intrapartikel sampel 1:0,5	84
Gambar D.10	Kinetika model difusi intrapartikel sampel 1:1 ...	84
Gambar D.11	Kinetika model difusi intrapartikel sampel 1:2...	85
Gambar D.12	Kinetika model difusi intrapartikel sampel 1:4...	85
Gambar D.13	Kinetika model elovich sampel 1:0,5.....	90
Gambar D.14	Kinetika model elovich sampel 1:1.....	90
Gambar D.15	Kinetika model elovich sampel 1:2.....	91
Gambar D.16	Kinetika model elovich sampel 1:4.....	91
Gambar E.1	Mikrograf SEM dari sampel : (a) karbon aktif tanpa aktivasi, (b) karbon/KOH 1:0,5, (c) karbon/KOH 1:1 (d) karbon/KOH 1:2, (e) karbon/KOH 1:4 .....	94
Gambar F.1	Grafik Isoterm N <sub>2</sub> Karbon Aktif Tanpa Aktivasi	96
Gambar F.2	Grafik Isoterm N <sub>2</sub> Karbon Aktif Rasio Karbon/KOH 1:1.....	98

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beberapa Jenis Sumber Energi.....	5
Tabel 2.2	Material Berpori untuk Fisisorpsi Hidrogen .....	8
Tabel 2.3	Klasifikasi Ukuran Pori (Sing dkk., 1985).....	9
Tabel 2.4	Beberapa Penelitian Sintesis Karbon Aktif.....	10
Tabel 2.5	Kandungan Senyawa Kimia pada Ampas Tebu (Loh, 2013).....	14
Tabel 4.1	Hasil Uji BET.....	32
Tabel 4.2	Hasil Adsorpsi Gas Hidrogen pada Suhu 30 <sup>0</sup> C dengan Tekanan 2 pascal .....	36
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Kapasitas Adsorpsi pada Beberapa Material .....	36
Tabel 4.4	Hasil Perbandingan Nilai Determinasi Regresi (R <sup>2</sup> ) pada Beberapa Model Kinetika Adsorpsi .....	38
Tabel 4.5	Konstanta Laju Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif dari Ampas Tebu Berdasarkan Persamaan Orde Kedua Semu .....	40
Tabel C.1	Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:0,5 .....	60
Tabel C.2	Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:1 .....	62
Tabel C.3	Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:2.....	64
Tabel C.4	Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:4.....	66
Tabel D.1	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu Sampel 1:0,5.....	68
Tabel D.2	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu Sampel 1:1.....	69
Tabel D.3	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu Sampel 1:2.....	70
Tabel D.4	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu Sampel 1:4.....	71
Tabel D.5	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu Sampel 1:0,5.....	74

Tabel D.6	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu Sampel 1:1.....	75
Tabel D.7	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu Sampel 1:2.....	76
Tabel D.8	Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu Sampel 1:4.....	77
Tabel D.9	Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel Sampel 1:0,5 .....	80
Tabel D.10	Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel Sampel 1:1 .....	81
Tabel D.11	Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel Sampel 1:2.....	82
Tabel D.12	Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel Sampel 1:4.....	83
Tabel D.13	Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:0,5.....	86
Tabel D.14	Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:1.....	87
Tabel D.15	Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:2.....	88
Tabel D.16	Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:4.....	89
Tabel D.17	Hasil Perhitungan Konstanta Laju Persamaan Orde Kedua Pseudo Lagergren .....	93

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Skema Kerja .....	55
Lampiran B	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Gas H <sub>2</sub> .....	58
Lampiran C	Data dan Grafik Kapasitas Adsorpsi Gas H <sub>2</sub> .....	59
Lampiran D	Analisa Data Kinetika .....	68
Lampiran E	Hasil Analisis SEM .....	94
Lampiran F	Hasil Analisis BET .....	95

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi baru terbarukan akhir-akhir ini telah mendapat perhatian serius oleh para peneliti di seluruh dunia, tepatnya setelah terjadi krisis energi pertama pada tahun 1973 (Bader dan Ouederni, 2016). Ketersediaan bahan bakar fosil dari tahun ke tahun semakin menurun. Berdasarkan data dari *International Energy Agency* pada tahun 2013 menyebutkan bahwa pasokan bahan bakar fosil saat ini hanya mampu untuk memenuhi kebutuhan energi global hingga 40 tahun kedepan (IEA, 2013). Selain permasalahan ketersediaan bahan bakar fosil yang terus berkurang, penggunaan energi tidak terbarukan tersebut juga menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan dan sosial. Hal tersebut mensyaratkan penelitian dan pengembangan terhadap energi baru terbarukan harus ramah lingkungan – *clean energy* (Fayaz dkk., 2012).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fayaz dkk. pada tahun 2012 menyatakan bahwa energi hidrogen merupakan sumber energi yang tidak terbatas sehingga mampu menggantikan penggunaan bahan bakar fosil saat ini. Selain itu, energi hidrogen juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan. Namun, lebih lanjut Fayaz dkk. mengatakan bahwa masih perlu diadakannya penelitian lebih lanjut terhadap energi hidrogen sebelum teknologi alternatif tersebut dapat dikomersialkan, seperti pada pemilihan material penyimpannya.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam memilih material penyimpan hidrogen diantaranya adalah material harus memiliki kapasitas adsorpsi tinggi (Juan-juan dkk., 2010), dapat digunakan pada suhu rendah (Berg dan Otero, 2008), dan memiliki kekuatan interaksi optimal ( $\Delta H = -15$  kJ/mol) (Bonelli dkk., 2011). Selain itu, berat jenis yang rendah dan volume pori yang tinggi juga merupakan dua faktor penting yang harus

dipertimbangkan dalam memilih material penyimpan gas hidrogen ( $H_2$ ) (Bonelli dkk., 2011).

Material yang mampu menyimpan gas hidrogen salah satunya adalah material berpori tinggi melalui proses fisisorpsi. Zeolit dan padatan mikropori sejenisnya (Palomino dkk., 2009), *metal-organic frameworks* (MOFs) (Collins dan Zhou, 2007) dan karbon berpori (Bonelli dkk., 2011) merupakan jenis-jenis material berpori yang dapat diaplikasikan sebagai material penyimpan gas hidrogen. Perbandingan kemampuan fisisorpsi gas hidrogen pada material MOFs, karbon aktif dan zeolit telah dianalisa oleh beberapa penelitian sebelumnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Juan-juan dkk. (2010) menunjukkan bahwa kemampuan penyimpanan gas hidrogen yang diukur dengan menggunakan metode volumetri (*Tap Density*) pada karbon aktif memiliki nilai adsorpsi yang lebih tinggi yakni sebesar 30 g  $H_2$ /L dibandingkan dengan material MOFs yang hanya sebesar 15 g  $H_2$ /L. Sedangkan material zeolit memiliki volume pori yang rendah dan berat jenis yang tinggi sehingga kurang optimal dalam mengadsorp gas hidrogen (Bonelli dkk., 2011).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Bonelli dkk. (2011) tentang fisisorpsi gas hidrogen pada material karbon nanopori menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki luas permukaan sebesar 1870  $m^2/g$  dan volume pori total sebesar 1,11  $cm^3/g$ . Lebih lanjut pada penelitian tersebut melaporkan hasil kapasitas adsorpsi gas hidrogen sebesar 3,422% berat pada material karbon nanopori. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut, karbon aktif merupakan material murah dengan kapasitas adsorpsi gas hidrogen yang tinggi.

Material karbon dapat dibuat dari berbagai limbah pertanian. Limbah pertanian merupakan material yang dapat diperbarui, murah dan mudah didapat. Diantara limbah pertanian tersebut adalah ampas tebu (Creamer dkk., 2014), tempurung kelapa, kulit kenari, serbuk gergaji dan kayu tropis (Amiliyah, 2012). Karbon aktif dari serbuk kayu memiliki ukuran pori berukuran meso- dan makro- (Daud dan Ali, 2004), dan karbon

aktif dari tempurung kelapa menghasilkan pori yang berukuran mikro. Namun, karbon aktif dari tempurung kelapa hanya mampu mengadsorp gas hidrogen sebesar 1,78% berat (Amiliyah, 2012). Sedangkan pada ampas tebu, sampai saat ini belum ada laporan terkait kemampuan karbon aktif yang disintesis dari ampas tebu terhadap fisisorpsi gas hidrogen. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan menggunakan ampas tebu sebagai *raw material* sintesis karbon aktif.

Guan dkk. (2013) telah berhasil membuat karbon aktif dari ampas tebu. Karbon aktif dari hasil penelitian tersebut memiliki luas permukaan hanya sebesar  $167 \text{ m}^2/\text{g}$ . Rendahnya luas permukaan tersebut menyebabkan karbon aktif yang telah dibuat oleh Guan dkk. kurang efektif jika digunakan sebagai material penyimpan gas hidrogen, sehingga diperlukan suatu upaya untuk dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif dari ampas tebu.

Peningkatan luas permukaan pada karbon aktif dapat dilakukan melalui proses aktivasi, baik secara fisika maupun kimia (Jorda dkk., 2008). Proses aktivasi secara fisika dilakukan pada suhu lebih dari  $950^\circ\text{C}$  (Creamer dkk., 2014), sedangkan aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan beberapa aktivator seperti KOH dan  $\text{ZnCl}_2$  (Susanti, 2016). Aktivator  $\text{ZnCl}_2$  dapat menghasilkan luas permukaan sebesar  $811 \text{ m}^2/\text{g}$  pada karbon aktif sekam padi dan sebesar  $864 \text{ m}^2/\text{g}$  pada karbon aktif ampas tebu. Sedangkan aktivator KOH, telah dilaporkan oleh beberapa penelitian bahwa aktivasi kalium hidroksida (KOH) mampu meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Creamer dkk. (2014) melaporkan bahwa karbon aktif tanpa diaktivasi hanya memiliki luas permukaan sebesar  $388 \text{ m}^2/\text{g}$ , namun pada penelitian Foo dan Hameed (2012) karbon aktif yang telah diaktivasi dengan KOH memiliki luas permukaan sebesar  $1621 \text{ m}^2/\text{g}$ . Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan menggunakan KOH sebagai agen aktivator untuk meningkatkan luas permukaan pada karbon aktif dari ampas tebu.



Berdasarkan uraian diatas, proses fisisorpsi gas hidrogen dapat dilakukan pada karbon aktif. Karbon aktif dapat disintesis secara murah dan mudah dari limbah ampas tebu. Namun, hingga saat ini data material untuk fisisorpsi gas hidrogen pada karbon aktif dari ampas tebu belum pernah ada yang melaporkan termasuk data kinetika adsorpsinya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian fisisorpsi gas hidrogen pada karbon aktif dari ampas tebu.

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan dalam penelitian ini adalah seberapa besar kapasitas adsorpsi gas hidrogen pada karbon aktif yang disintesis dari ampas tebu dengan aktivator KOH. Selain itu, bagaimana model kinetika adsorpsi yang sesuai terhadap adsorpsi gas hidrogen tersebut.

## **1.3 Batasan Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dari ampas tebu menggunakan metode yang pernah dilakukan oleh Amiliyah (2012) dengan variasi rasio massa karbon/KOH yaitu 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4. Hasil sintesis tersebut akan diuji kapasitas adsorpsi gas hidrogen dan kinetika adsorpsinya.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi gas hidrogen pada karbon aktif yang disintesis dari ampas tebu dengan aktivator KOH serta mengetahui model kinetika adsorpsi yang sesuai terhadap adsorpsi gas hidrogen tersebut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Gas Hidrogen

Energi merupakan salah satu kebutuhan penting bagi suatu negara. Industri, rumah tangga dan transportasi merupakan sektor-sektor yang membutuhkan energi. Sebanyak 80% kebutuhan energi global saat ini disediakan dari bahan bakar fosil. Angka permintaan energi dunia tersebut diperkirakan naik sebesar 40% pada tahun 2035. Padahal, ketersediaan bahan bakar fosil dari tahun ke tahun semakin menurun. Berdasarkan data dari *International Energy Agency* pada tahun 2013 menyebutkan bahwa pasokan bahan bakar fosil saat ini hanya mampu untuk memenuhi kebutuhan energi global hingga 40 tahun kedepan (IEA, 2013).

Tabel 2.1 Beberapa Jenis Sumber Energi

Bahan bakar	Fasa pada suhu & tekanan ruang	Kuantitas energi (MJ/kg)	Hasil pembakaran	Pustaka
Batu bara	Padat	30	SO <sub>x</sub>	Atkins dkk., (2010)
Metanol	Cair	20	CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	
Solar	Cair	45	CO, CO <sub>2</sub>	
Bensin (gasolin)	Cair	46	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	
Hidrogen	Cair	120	H <sub>2</sub> O	Hirscher, (2010)

Selain permasalahan ketersediaan bahan bakar fosil yang terus berkurang, penggunaan energi tidak terbarukan juga

menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan dan sosial. Sebagai contoh, sebesar 60% penyebab pemanasan global adalah emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari bahan bakar fosil. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di atmosfer bumi naik menjadi 33% selama periode tahun 1901 – 2000 (Susanti, 2016). Hal tersebut mensyaratkan penelitian dan pengembangan terhadap energi baru terbarukan harus ramah lingkungan – *clean energy* (Fayaz dkk., 2012).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fayaz dkk. pada tahun 2012 menyatakan bahwa energi hidrogen merupakan sumber energi yang tidak terbatas sehingga mampu menggantikan penggunaan bahan bakar fosil saat ini. Selain itu, energi hidrogen juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan karena hanya mengemisi uap air.

Kelimpahan hidrogen di Bumi sebesar 90%, sebagian besar terdapat dalam senyawa kimia seperti air dan hidrokarbon (Firak dan Dukic, 2016). Proses pemurnian gas hidrogen dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah fotovoltaiik (PV) dari udara bebas (Dukic dkk., 2011), dan elektrolisis air (Balta dkk., 2015). Namun, kedua metode tersebut masih membutuhkan energi besar dalam proses produksinya. Selain kedua metode diatas, terdapat satu metode yang dianggap lebih ramah lingkungan dan murah yaitu proses produksi hidrogen secara biologi melalui fotosintesis dan fermentasi dengan bantuan mikroorganisme (Ahmed dkk., 2016).

Berdasarkan uraian diatas dan dengan telah ditemukannya metode pemurnian hidrogen yang murah dan ramah lingkungan, semakin memperkuat bahwa energi hidrogen merupakan energi baru terbarukan masa depan yang menjanjikan.

## **2.2 Prinsip Penyimpanan Gas Hidrogen**

Penyimpanan hidrogen dalam fase padat merupakan metode penyimpanan yang efisien dan aman jika dibandingkan dengan metode penyimpanan dalam fase cair dan gas. Gas hidrogen jika disimpan dalam fase cair membutuhkan suhu di bawah 30 K, sedangkan jika disimpan dalam fase gas

membutuhkan tekanan tinggi lebih dari 70 Mpa. Hal sebaliknya ditunjukkan pada metode penyimpanan fase padat yakni hanya membutuhkan tekanan di bawah 10 Mpa dan dapat disimpan dalam suhu ruang (Broom dkk., 2016).

Dalam fase padat, gas hidrogen dapat disimpan dalam suatu material berpori melalui proses fisisorpsi atau adsorpsi fisika. Fisisorpsi hidrogen merupakan peristiwa bertemunya molekul-molekul hidrogen pada permukaan material hingga memunculkan gaya Van Der Waals (Zukarnain, 2011). Adanya gaya Van Der Waals tersebut yang menyebabkan gas hidrogen dapat teradsorpsi pada permukaan material berpori.

Mekanisme penyimpanan gas hidrogen dapat dipelajari melalui proses adsorpsi fisika atau fisisorpsi. Pada saat gas hidrogen dilewatkan dalam material berpori terdapat interaksi molekul antara material berpori dan gas hidrogen pada permukaan material tersebut. Interaksi antara molekul hidrogen dengan material berpori tersebut menghasilkan gaya Van Der Waals, sehingga hidrogen dapat terserap pada permukaan material berpori tersebut.

Keseimbangan antara tarikan gas dan tolakan gas pada permukaan menghasilkan jumlah energi minimum yang besarnya antara 1-10 kJ/mol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa interaksi yang dihasilkan sangat lemah. Oleh sebab itu, gas hidrogen dilepas dengan meningkatnya suhu (proses *degassing*) dan hanya sejumlah kecil gas hidrogen diserap yang didapatkan oleh karbon pada suhu yang tinggi (Strobel dkk., 2006).

## **2.3 Material Berpori untuk Fisisorpsi Gas Hidrogen**

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan material penyimpan gas hidrogen dalam aplikasi transportasi diantaranya memiliki berat yang ringan, memiliki volume yang kecil, dapat menempuh jarak 500 km, memiliki *refuelling time* < 3 menit, tidak memerlukan pendinginan ketika *refuelling*, memiliki waktu hidup > 500 kali, dan murah (Hirscher dkk., 2009).

Material berpori tinggi merupakan material yang mampu menyimpan hidrogen melalui proses fisisorpsi. Kelebihan material berpori sebagai material penyimpan gas hidrogen adalah *reversible* pada proses adsorpsinya dan gaya kinetik adsorpsinya cepat. Dengan rendahnya nilai entalpi tersebut, maka suhu yang dibutuhkan juga akan rendah (Broom dkk., 2016). Oleh sebab itu, penyimpanan gas hidrogen dalam fase padat pada material berpori merupakan metode yang efisien dan aman dalam aplikasi transportasi.

Tabel 2.2 Material Berpori untuk Fisisorpsi Gas Hidrogen

Material	Luas Permukaan BET (m <sup>2</sup> /g)	Kapasitas Adsorpsi H <sub>2</sub> (%berat)	Pustaka
Zeolit (ZMOF)	361	1,6	Calleja dkk., 2010
MOF-5	2800	5,1	Juan-Juan dkk., 2010
Karbon Aktif	3120	5,25	

Berdasarkan Tabel 2.2 diatas dapat diperoleh informasi bahwa karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi gas hidrogen paling tinggi. Hal tersebut disebabkan karena karbon aktif memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan kedua material lainnya yakni zeolit dan MOF.

## 2.4 Karbon Aktif

Karbon merupakan salah satu unsur kimia dengan nomor atom 6 yang termasuk ke dalam golongan silikat (IV A) dan merupakan tetravalen non logam. Sifat-sifat karbon yang diakibatkan dari susunan elektron di sekitar inti atom yakni : memiliki konfigurasi elektron berupa  $1s^2 2s^2 2p^2$  sehingga dapat membentuk empat ikatan dengan melibatkan elektronvalensi pada orbital 2s dan 2p. Karbon dapat membentuk ikatan baik berupa rantai maupun cincin yang meliputi ikatan tunggal, ikatan rangkap, maupun ikatan rangkap tiga (Harris, 2004).

Material karbon dibedakan menjadi dua yaitu material karbon berpori dan tidak berpori. Karbon tidak berpori hadir sebagai 6 allotrop dari karbon (Pierson, 1993). Alotrop karbon merupakan keberadaan unsur karbon dalam dua atau lebih bentuk yang berbeda-beda. Berdasarkan sifat kristalinnya, alotrop karbon dibedakan atas karbon kristalin dan karbon non kristalin. Jenis karbon yang termasuk karbon kristalin antara lain adalah grafit, intan, dan fullerene. Sedangkan karbon non kristalin misalnya karbon aktif.

Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran Pori

Jenis Karbon Berpori	Ukuran
Makropori	$> 50 \text{ nm}$
Mesopori	$2 \text{ nm} < w < 50 \text{ nm}$
Mikropori	$< 2 \text{ nm}$
Supermikropori	$0,7 \text{ nm} < w < 2 \text{ nm}$
Ultramikropori	$< 0,7 \text{ nm}$

Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar antara  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  hingga  $3500 \text{ m}^2/\text{g}$  dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben (Taryana, 2002).

## 2.5 Sintesis Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai limbah pertanian. Limbah pertanian merupakan material yang dapat diperbarui, murah dan mudah didapat. Diantara limbah pertanian tersebut adalah ampas tebu (Creamer dkk., 2014), tempurung kelapa, kulit kenari, serbuk gergaji dan kayu tropis (Amiliyah, 2012).

Proses pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga tahapan, yakni dehidrasi, karbonasi dan aktivasi. Proses

dehidrasi dilakukan dengan memanaskan bahan baku sampai suhu 150 °C selama 24 jam dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dalam bahan baku. Selanjutnya dilakukan proses karbonasi dengan pemanasan pada suhu 600-1100 °C. Selama proses ini unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen dibebaskan dalam bentuk gas. Proses karbonasi menghasilkan tiga komponen, yaitu karbon (arang), tar dan gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan lain-lain) (Juliandini dan Trihadiningrum, 2008).

Tahap terakhir adalah aktivasi. Proses aktivasi akan memperkuat struktur pori dan luas permukaan karbon akan meningkat, sehingga kemampuan adsorpsi dari karbon akan semakin meningkat (Jankowska dkk., 1991). Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul- molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi.

Tabel 2.4 Beberapa Penelitian Sintesis Karbon Aktif

Bahan Baku	Metode	Suhu (°C)	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Puataka
Batubara Bituminus	Aktivasi KOH	800	3000	Teng, 1999
Limbah pinus	Aktivasi KOH	800	1908	Garcia dkk., 2002
Sekam padi	Aktivasi ZnCl <sub>2</sub>	700	811	Kalderis dkk., 2008
Ampas Tebu	Aktivasi ZnCl <sub>2</sub>	700	864	
Tempurung Kelapa	Aktivasi KOH	800	977	Amiliyah, 2012

## 2.6 Kontrol Luas Permukaan Karbon Aktif melalui Aktivasi Kimia

Hasil karbonisasi suatu material cenderung menghasilkan struktur pori dan luas permukaan yang masih rendah. Salah satu upaya untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah dengan proses aktivasi. Proses aktivasi memiliki 2 jenis yakni aktivasi fisika dan aktivasi secara kimia (Susanti, 2016). Proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan memanaskan karbon pada suhu 800 °C – 1000 °C dengan dialiri gas pengoksidasi seperti uap air, oksigen, atau karbon dioksida. Karbon akan bereaksi dengan gas pengoksidasi tersebut dan akan melepaskan karbon monoksida dan karbon dioksida (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006). Berikut merupakan persamaan reaksi proses gasifikasi karbon.



Senyawa-senyawa produk samping akan terlepas pada proses aktivasi fisika sehingga akan memperluas pori dan meningkatkan daya adsorpsi (Shofa, 2012).

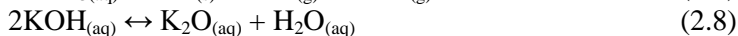
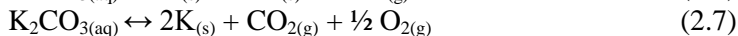
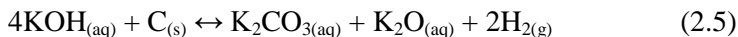
Pada proses aktivasi kimia, material karbon dicampur dengan bahan kimia yang disebut sebagai aktivator. Setelah itu, diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama beberapa jam agar reaksi dapat berjalan sempurna. Kemudian larutan disaring, dicuci dan dikeringkan. Tahap pencucian bertujuan untuk melepaskan aktivator yang terkandung dalam karbon aktif sehingga akan meninggalkan bekas berupa pori.

Aktivator yang digunakan merupakan garam yang berasal dari logam alkali, alkali tanah dan zat asam. Aktivator berfungsi sebagai reagen pengaktif. Zat aktivator tersebut akan mengaktifkan atom-atom karbon untuk menjadikan karbon memiliki daya serap yang lebih baik. Karbon yang teroksidasi oleh aktivator tersebut akan merusak bagian dalam permukaan karbon untuk membentuk pori (Miranti, 2012). Selain itu, air



yang terkandung di dalam karbon akan diikat oleh aktivator pada pori-pori karbon kemudian dilepaskan bersama aktivator tersebut. Aktivator tersebut kemudian masuk ke dalam pori-pori karbon untuk membuka permukaan arang yang tertutup. Dengan demikian, senyawa pengotor yang terkandung dalam karbon dapat dengan mudah dilepaskan oleh aktivator sehingga meninggalkan pori dan memperbesar luas permukaan karbon (Dabrowski dkk., 2005). Bahan-bahan kimia yang biasa digunakan sebagai zat aktivator adalah KOH,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ , NaOH,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  (Susanti, 2016).

Pada penelitian Linear S.A. dkk. berhasil mendapatkan luas permukaan sebesar  $3.600 \text{ m}^2/\text{g}$  dengan menggunakan zat aktivator berupa KOH. Dalam proses pemanasan pada suhu tinggi, karbon akan bereaksi membentuk  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Selanjutnya, karbon akan mereduksi  $\text{K}_2\text{CO}_3$  yang terbentuk tersebut membentuk atom kalium dan gas karbon monoksida yang kemudian terinterkalasi ke dalam karbon membentuk pori baru (Susanti, 2016). Reaksi yang terjadi berikut :



(Susanti, 2016)

Pada proses aktivasi secara kimia, terdapat faktor penting yang harus diperhatikan yakni pada saat impregnasi. Tingkat perendaman pada saat impregnasi dapat mempengaruhi porositas produk yang dihasilkan. Proses impregnasi yang terlalu lama dapat mengurangi jumlah diameter pori yang kecil. Sebaliknya,

jumlah diameter pori yang besar akan semakin meningkat (Molina-sabio, 2004).

## **2.7 Ampas Tebu**

Ampas tebu merupakan limbah padat yang dihasilkan dari aktivitas pabrik pembuatan gula dari tanaman tebu. Berdasarkan data FAO (*Food and Agriculture Organization of The United Nations*) pada tahun 2014, Indonesia merupakan negara penghasil tebu ke-11 (sebelas) terbesar di dunia dikarenakan proses produksi mencapai 24.000.000 tanaman tebu atau sebesar 3,3% dari produksi Brazil yang merupakan negara penghasil tebu terbesar di dunia, yaitu sebesar 734.000.000 tanaman tebu. Rata – rata ampas tebu yang diperoleh dari proses giling 32 % tebu atau sekitar 7,68 juta ton ampas per tahun.

Ampas tebu merupakan hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu dengan prosentase sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling (Penebar Swadaya, 1992). Ampas tebu yang dihasilkan dari produksi gula jumlahnya 30% dari tebu yang diolah (Mui, 1996) atau 31,34% dari tebu yang digiling (Gandana, 2012). Husin (2007) menambahkan, berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Namun, masih 60% dari ampas tebu tersebut dimanfaatkan oleh pabrik gula sebagai bahan bakar, bahan baku untuk kertas, bahan baku industri kanvas rem dan industri jamur (Andaka, 2008). Sedangkan sisanya yakni sekitar 40% masih belum termanfaatkan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Loh dkk. pada tahun 2013 menunjukkan bahwa kandungan utama ampas tebu antara lain selulosa, hemiselulosa dan lignin. Ketiga komponen tersebut merupakan unsur yang tergabung dalam senyawa lignoselulosa. Kandungan lignoselulosa inilah yang menyebabkan ampas tebu dapat dijadikan sebagai karbon aktif (Shofa, 2012). Prosentase kandungan Senyawa Kimia pada ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kandungan Senyawa Kimia pada Ampas Tebu (Loh dkk, 2013)

Senyawa	Prosentase (%) Berat
Selulosa	50
Hemiselulosa	29
Lignin	15

## 2.8 Studi Kinetika Adsorpsi Gas

Aspek kinetika adsorpsi merupakan salah satu aspek penting yang bertujuan untuk mengetahui efektifitas adsorpsi suatu material. Dengan adanya studi kinetika adsorpsi, maka akan dapat diketahui seberapa cepat proses adsorpsi tersebut berlangsung (Holle dkk., 2013).

Kinetika adsorpsi dapat ditentukan dengan beberapa model kinetika, diantaranya adalah : persamaan laju orde pertama Pseudo Lagergren, persamaan laju orde kedua Pseudo Ho, persamaan Elovich, dan persamaan difusi intrapartikel.

### 2.8.1 Model Kinetika Orde Pertama Pseudo Lagergren

Model kinetika orde pertama Pseudo Lagergren dikemukakan pertama kali oleh Lagergren (1989). Bentuk persamaan model kinetika tersebut adalah :

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k}{2,303}\right)t \quad (2.12)$$

dimana  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan,  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$ , dan  $k$  adalah konstanta laju orde pertama Pseudo Lagergren. Plot dari  $\log (q_e - q_t)$  vs. waktu ( $t$ ) akan memberikan garis lurus dan koefisien determinasi  $R^2$ .

### 2.8.2 Model Kinetika Orde Kedua Pseudo Ho

Persamaan model kinetika orde kedua Pseudo Ho dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{V_o} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.13)$$

dimana  $V_o$  adalah laju adsorpsi awal.  $V_o$  didapatkan dari mengalikan konstanta laju orde kedua pseudo dengan  $q_e^2$ . Plot  $t/q_t$  vs.  $t$  akan menghasilkan garis lurus dan koefisien determinasi  $R^2$ .

### 2.8.3 Model Kinetika Elovich

Model kinetika Elovich mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$q = \alpha \ln(a \alpha) + \alpha \ln t \quad (2.14)$$

dimana  $\alpha$  adalah konstanta desorpsi dan  $a$  adalah laju desorpsi awal. Plot  $q$  vs.  $\ln t$  akan memberikan garis lurus dan koefisien determinasi  $R^2$ .

### 2.8.4 Model Difusi Intrapartikel

Model difusi intrapartikel dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_t = k_i t^{1/2} + C \quad (2.15)$$

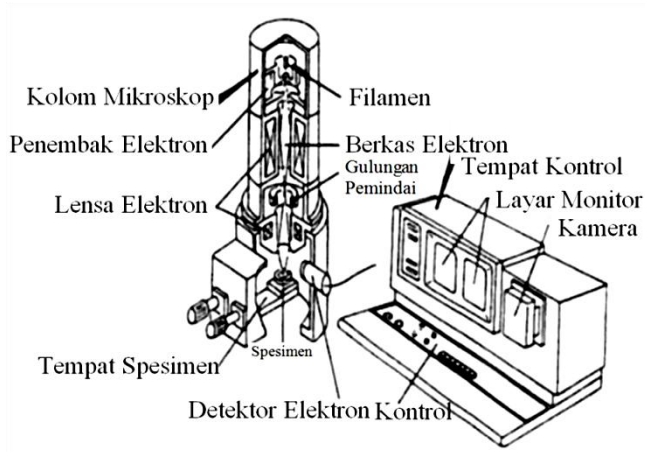
dimana  $K_i$  adalah konstanta laju difusi intrapartikel dan  $C$  adalah intersep. Plot  $q_t$  vs.  $t^{1/2}$  akan memberikan garis lurus dan koefisien determinasi  $R^2$  (Yakout dkk., 2010).

## 2.9 Karakterisasi Karbon Aktif

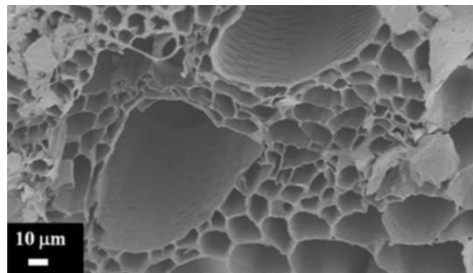
### 2.9.1 SEM

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk menggambarkan keadaan tekstur, topografi serta corak dari suatu permukaan molekul berdasarkan berkas elektron yang diberikan pada sampel senyawa tersebut. Citra atau gambar dari hasil analisis SEM ini menggambarkan suatu bentuk tiga dimensi dari permukaan

molekul yang diinterpretasikan ke dalam sebuah layar (Egerton, 2008 ). Instrumen SEM dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komponen-komponen SEM (Egerton, 2008)



Gambar 2.2 Mikrograf SEM Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Huang dkk., 2011)

Pada dasarnya prinsip kerja SEM adalah seperti mikroskop, tetapi dalam SEM menggunakan berkas elektron sebagai ganti cahaya untuk membentuk suatu gambaran tiga dimensinya. Suatu berkas elektron diberikan dari *electron gun* melalui suatu lensa elektromagnetis. Di dalam lensa

elektromagnetis terdapat koil yang berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron agar mengarah pada suatu sampel. Sampel akan menghamburkan sejumlah elektron (*secondary electron*) yang nantinya akan ditangkap oleh detektor. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*) berdasarkan amplitudonya. Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisadigunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang tiga dimensi (Egerton, 2008 ).

Untuk menghasilkan suatu gambaran dalam suatu layar, berkas elektron yang diterima di detektor diperbesar dan diinterpretasikan dalam bentuk tiga dimensi. Berkas elektron sebesar 1.000 poin diteruskan secara horisontal ke seberang sampel secara tegak lurus. Ini memberi 1.000.000 poin informasi. Elektron yang datang ditransfer untuk disesuaikan titik pada layar. Karena layar juga mempunyai 1.000 poin horisontal dan 1.000 bentuk tegak lurus, maka citra atau gambar dapat secara tepat dapat ditampilkan dalam layar (Egerton, 2008).

### 2.9.2 Luas Permukaan Karbon Aktif (Teori BET)

Teori BET (Brunauer-Emmet-Teller) merupakan teori yang menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padat. Pada umumnya teori ini digunakan sebagai dasar teknik analisis pengukuran luas permukaan spesifik dari suatu material.

Adapun persamaan BET dapat dituliskan sebagai berikut :

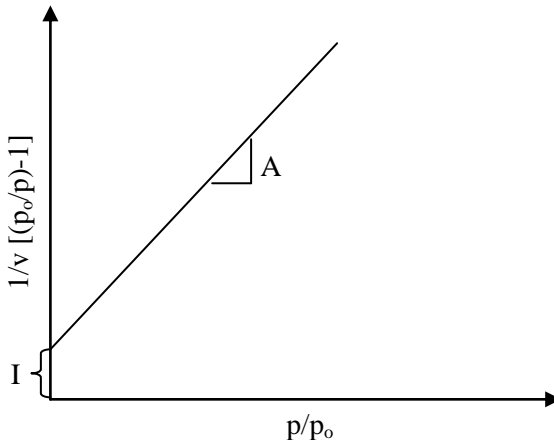
$$\frac{1}{v [(p_0/p) - 1]} = \frac{c - 1}{v_m c} \left( \frac{p}{p_0} \right) + \frac{1}{v_m c} \quad (2.16)$$

dimana  $p$  dan  $p_0$  adalah kesetimbangan dan tekanan jenuh adsorbat pada suhu adsorpsi,  $v$  adalah jumlah gas yang teradsorb dalam satuan volume,  $v_m$  adalah jumlah gas yang teradsorb dalam monolayer, dan  $C$  adalah konstanta BET.

$$c = \exp\left(\frac{E_1 - E_L}{RT}\right) \quad (2.17)$$

dimana  $E_1$  adalah panas adsorpsi lapisan pertama dan  $E_L$  adalah panas adsorpsi lapisan kedua atau lebih yang nilainya sama dengan panas pencairan gas.

Dari persamaan adsorpsi isotherm (2.16) dapat dibuat suatu grafik linier dengan  $1/v [(p_o/p)-1]$  sebagai sumbu y dan  $p/p_o$  sebagai sumbu x dengan data yang dimasukkan sesuai hasil eksperimen. Pernyataan berikut dapat dijelaskan melalui grafik yang digambarkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Grafik BET

Nilai  $A$  (kemiringan) dan  $I$  (intersep pada sumbu y) digunakan untuk menghitung kuantitas gas yang terserap pada lapisan monolayer ( $v_m$ ) dan konstanta BET  $C$  dengan persamaan sebagai berikut:

$$v_m = \frac{1}{A + I} \quad (2.18)$$

$$c = 1 + \frac{A}{I}. \quad (2.19)$$

Metode BET banyak digunakan dalam ilmu permukaan untuk menghitung luas permukaan total  $S_{\text{total}}$  dan luas permukaan spesifik  $S_{\text{BET}}$  dengan persamaan berikut:

$$S_{\text{total}} = \frac{(v_m N s)}{V} \quad (2.20)$$

$$S_{\text{BET}} = \frac{S_{\text{total}}}{a} \quad (2.21)$$

dimana  $v_m$  merupakan volume molar gas yang teradsorb,  $N$  adalah bilangan Avogadro,  $s$  adalah luas penampang adsorpsi dari adsorben,  $v$  adalah volume molar gas adsorbat, dan  $a$  adalah massa adsorben (Brunauer dkk., 1938).

## 2.10 Pengukuran Adsorpsi Gas Hidrogen dengan Metode Gravimetri

Adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada material berpori berdasarkan pada prinsip adsorpsi fisika (fisisorpsi). Fisisorpsi gas hidrogen merupakan peristiwa penyerapan molekul-molekul hidrogen ( $H_2$ ) pada permukaan material pengadsorpsi yang terjadi secara reversibel. Dalam penelitian ini, yang berperan sebagai adsorbat adalah gas hidrogen ( $H_2$ ) dan material pengadsorpsi berupa karbon aktif dari ampas tebu berperan sebagai adsorben. Kapasitas adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) pada karbon aktif dari ampas tebu yang telah diaktivasi dengan KOH ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri (Susanti, 2016).

Prinsip pengukuran metode gravimetri adalah dengan mengamati perubahan massa selama proses penyerapan gas hidrogen ( $H_2$ ). Setelah itu, prosentase kapasitas adsorpsi gas hidrogen ( $H_2$ ) dapat diperoleh dengan cara menghitung selisih



massa karbon aktif setelah dialiri gas hidrogen ( $H_2$ ) dengan sebelum dialiri gas hidrogen ( $H_2$ ). Berikut merupakan persamaan pengukuran secara gravimetri :

$$\% \text{ berat} = \frac{m_t}{m_o} \times 100\% \quad (2.22)$$

dimana  $m_t$  adalah massa karbon setelah dialiri gas hidrogen ( $H_2$ ) dan  $m_o$  adalah massa karbon sebelum dialiri gas hidrogen ( $H_2$ ).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebuah drum yang terbuat dari besi, pematik api, krusibel *stainless steel*, *tube furnace* dengan aliran gas nitrogen ( $N_2$ ), filterasi vakum (Buchner), oven, desikator, *hot plate*, neraca analitis, oven, pengaduk magnetik, serta peralatan gelas seperti gelas *Beaker*, kaca arloji, pengaduk kaca, erlenmeyer dan corong *Buchner*. Karakterisasi karbon aktif dalam penelitian ini menggunakan beberapa instrumen antara lain *Scanning Electron Microscope* (SEM), Breneur Emmet Teller (BET) dan alat gravimetri.

##### **3.1.2 Bahan**

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain ampas tebu, KOH, HCl 2M, air demineralisasi (aqua DM), gas nitrogen ( $N_2$ ) *Ultra High Purity* (UHP) dan gas hidrogen ( $H_2$ ) *Ultra High Purity* (UHP).

#### **3.2 Prosedur Kerja**

##### **3.2.1 Sintesis Karbon dari Ampas Tebu**

Penelitian ini diawali dengan pembuatan Karbon dari ampas tebu. Prosedur pembuatan karbon didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Amiliyah (2012). Pembuatan karbon dari ampas tebu dilakukan dengan menggunakan drum besi tertutup yang telah diberi lubang sedikit sebagai tempat keluar masuknya udara. Ampas tebu diperoleh dari penjual es tebu didaerah Surabaya. Terlebih dahulu ampas tebu tersebut dicuci dan dijemur dibawah sinar matahari langsung selama 3 hari. Kemudian sedikit demi sedikit ampas tebu kering dimasukkan ke dalam drum besi sambil dibakar hingga drum terisi penuh. Pada proses awal ini lubang udara pada drum

dibiarkan terbuka. Setelah drum terisi penuh dengan ampas tebu, drum ditutup rapat untuk mencegah masuknya udara. Proses pembakaran dilakukan selama kurang lebih 5 jam. Kemudian dibiarkan hingga drum dingin. Setelah dingin, karbon yang dihasilkan diambil kemudian digerus dan diayak sesuai ukuran 60 mesh.

### **3.2.2 Aktivasi Karbon menjadi Karbon Aktif**

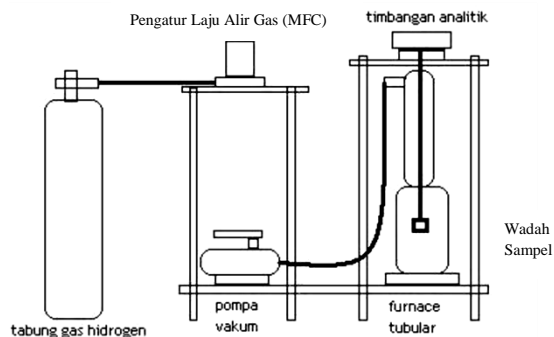
Proses selanjutnya dalam penelitian ini adalah aktivasi karbon yang telah dibuat dari ampas tebu menjadi karbon aktif. Karbon diaktivasi menggunakan KOH (Bader dan Ouederni, 2016). Sebelum dilakukan proses aktivasi, terlebih dahulu karbon dialiri gas nitrogen pada suhu 500 °C selama 2 jam dalam *furnace tubular*. Penggunaan gas nitrogen bertujuan untuk mempertahankan kandungan karbon pada ampas tebu agar karbon tidak banyak yang hilang pada saat karbonisasi. Kemudian karbon dicampur KOH dengan perbandingan karbon:KOH 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4. Sampel karbon yang telah dicampur kemudian diaktivasi dengan cara dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam dalam kondisi atmosfer nitrogen. Setelah diaktivasi, karbon aktif dicuci dengan HCl 2M untuk menghilangkan kandungan kalium dalam karbon aktif. Karbon aktif kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam.

### **3.2.3 Karakterisasi**

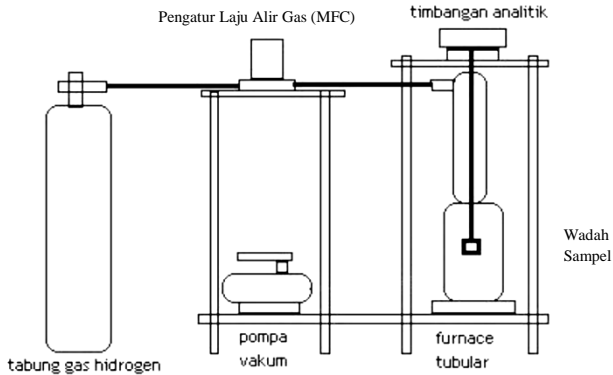
Hasil karbon aktif dari ampas tebu dalam penelitian ini dikarakterisasi dengan SEM dan adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub>. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan karbon aktif yang telah dihasilkan. Sedangkan analisis metode adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, diameter pori serta volume mesopori dan mikropori yang dimiliki karbon aktif .

### 3.2.4 Pengujian Kapasitas Penyimpanan Gas Hidrogen

Pengujian kapasitas penyimpanan gas hidrogen dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri yakni dengan mengamati perubahan massa sampel sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen. Rangkaian alat gravimetri disusun sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2. Masing-masing sampel karbon yang sebelumnya telah dipanaskan dalam oven dan didinginkan dalam desikator, diambil sebanyak 1,3031 g, kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel steril dan digantung pada neraca analitik. Kemudian dilakukan proses *degassing* dalam kondisi vakum menggunakan pompa vakum di dalam *furnace tubular* pada suhu 300 °C selama 3 jam. Setelah 3 jam, *furnace tubular* dimatikan kemudian dibiarkan hingga suhu sistem mencapai suhu ruang ( $\pm 30$  °C). Berat sampel diamati hingga konstan, kemudian dicatat sebagai massa awal ( $m_0$ ). *Mass Flow Control* (MFC) dinyalakan, lalu ditunggu hingga menunjukkan angka nol. Laju aliran gas H<sub>2</sub> diatur 15 mL/menit menggunakan MFC. Knop tabung gas H<sub>2</sub> dibuka hingga gas dapat mengalir secara perlahan. Pengamatan dilakukan setiap 5 menit terhadap perubahan berat sebagai berat akhir setelah adsorpsi ( $m_t$ ) hingga tercapai berat konstan.



Gambar 3.1 Skema Alat Uji Kapasitas Penyimpanan Hidrogen pada proses *degassing*



Gambar 3.2 Skema Alat Uji Kapasitas Penyimpanan Hidrogen pada proses adsorpsi

Perhitungan kapasitas adsorpsi gas hidrogen menggunakan metode gravimetri % gas<sub>(Ads)</sub> dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$\% \text{ Gas}_{(\text{Ads})} = \frac{(m_t - m_0)}{m_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

### 3.2.5 Penentuan Kinetika Adsorpsi Gas Hidrogen

Data hasil adsorpsi hidrogen digunakan untuk menghitung aspek kinetika adsorpsinya. Persamaan yang digunakan untuk menentukan model kinetika adsorpsi yang sesuai diantaranya adalah : persamaan orde pertama Pseudo Lagergren, persamaan orde kedua Pseudo Ho, persamaan Elovich, dan persamaan difusi intrapartikel.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan akan dijelaskan hasil sintesis karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi KOH. Selain itu, pada bab ini juga akan dibahas kemampuan karbon aktif dari ampas tebu tersebut untuk mengadsorp gas hidrogen ( $H_2$ ).

#### 4.1 Hasil Sintesis Karbon dari Ampas Tebu dan Aktivasinya

##### 4.1.1 Hasil Sintesis Karbon

Hasil sintesis karbon dari ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 (b) menunjukkan bahwa ampas tebu dapat dijadikan sebagai karbon. Hal tersebut disebabkan karena ampas tebu memiliki kandungan lignoselulosa tinggi. Besar persentase senyawa lignoselulosa pada ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 2.5.



(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Ampas tebu kering, (b) Arang ampas tebu

Pada Gambar 4.1 (b) menunjukkan bahwa arang ampas tebu yang dihasilkan masih kasar dengan ukuran arang yang tidak seragam. Namun, arang ampas tebu tersebut tidak lebih kasar jika dibandingkan dengan arang yang dihasilkan dari tempurung kelapa. Hal tersebut disebabkan karena ampas tebu memiliki

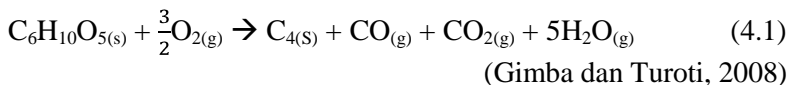
kandungan senyawa lignin lebih rendah yakni sebesar 15%, sedangkan tempurung kelapa memiliki kandungan senyawa lignin sebesar 33,61% (Amiliyah, 2012). Senyawa lignin merupakan polimer alami yang terdiri dari molekul-molekul polifenol yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel kayu satu sama lain, sehingga batang tumbuhan menjadi keras dan kaku (Rudatin, 1989).

Tahap selanjutnya adalah proses karbonisasi. Terlebih dahulu arang ampas tebu yang telah dingin dihaluskan dengan menggunakan alu dan mortar. Proses penghalusan tersebut bertujuan untuk mereduksi ukuran arang ampas tebu. Semakin halus (kecil) ukuran ampas tebu, maka luas permukaan ampas tebu yang terkena kontak dengan panas pada saat karbonisasi juga semakin besar. Hasil penghalusan arang ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Karbon Ampas Tebu yang telah dihaluskan

Proses karbonisasi ampas tebu dilakukan pada suhu 500°C. Reaksi yang terjadi selama proses karbonisasi adalah sebagai berikut :



Berdasarkan Persamaan Reaksi 4.1, proses karbonisasi ampas tebu menghasilkan padatan karbon dan senyawa-senyawa lain yang mudah menguap.

Hasil karbon dari proses karbonisasi ampas tebu dihaluskan kembali. Kemudian karbon ampas tebu yang telah halus disaring dengan menggunakan penyaring berukuran 125 mesh. Penghalusan dan penyaringan tersebut bertujuan untuk menghasilkan karbon yang berukuran seragam dan memperkecil ukuran partikel dari karbon ampas tebu. Ukuran partikel dapat mempengaruhi luas permukaan karbon. Semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan karbon akan semakin besar. Besar luas permukaan karbon dapat mempengaruhi besar kapasitas penyimpanan gas hidrogen. Oleh sebab itu, untuk mengetahui besar luas permukaan pada karbon yang telah dihasilkan dari proses karbonisasi ampas tebu diatas dapat dilakukan dengan pengukuran luas permukaan menggunakan metode BET. Hasil uji dengan menggunakan metode BET dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Hasil pengujian metode BET pada karbon ampas tebu menunjukkan bahwa besar luas permukaan pada karbon ampas tebu sangat kecil yakni sebesar  $12 \text{ m}^2/\text{g}$ . Besar luas permukaan pada karbon dapat mempengaruhi struktur pori yang terbentuk. Semakin kecil luas permukaan karbon, maka struktur pori yang dihasilkan akan semakin besar.

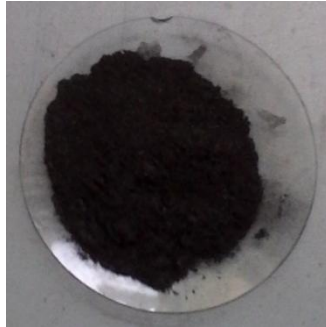
Untuk memperbesar luas permukaan karbon yang dihasilkan dari ampas tebu, dapat dilakukan dengan perlakuan aktivasi secara kimia seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.6 pada bab 2.

#### **4.1.2 Hasil Aktivasi Karbon**

Aktivasi karbon pada penelitian ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan karbon dengan cara mengubah struktur makropori pada karbon menjadi struktur mikropori. Metode aktivasi yang dipilih adalah metode aktivasi kimia. Kelebihan metode aktivasi kimia dibandingkan dengan metode aktivasi fisika diantaranya suhu aktivasi lebih rendah, *yield*



karbon aktif lebih tinggi dan pori-pori yang terbentuk lebih banyak. Hasil aktivasi karbon dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Aktivasi Karbon

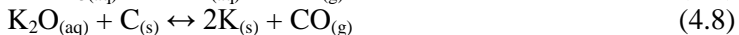
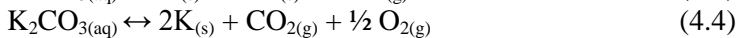
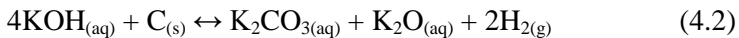
Zat aktivator yang digunakan pada penelitian ini adalah KOH. KOH merupakan agen penghidrasi pada suhu tinggi sehingga dapat digunakan sebagai aktivator pada proses aktivasi secara kimia. Selain itu, berdasarkan Tabel 2.4 diketahui bahwa aktivator KOH dapat memperbesar luas permukaan pada beberapa penelitian. Luas permukaan yang besar tersebut akan meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen.

KOH akan dapat dengan mudah bereaksi dengan material lignoselulosa pada ampas tebu yang sebelumnya telah dikarbonisasi terlebih dahulu (Lydia, 2012). Hal tersebut berbeda dengan aktivator yang bersifat asam seperti  $\text{ZnCl}_2$ , material lignoselulosa lebih baik dicampur langsung dengan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  tanpa melalui proses karbonisasi sebelumnya. Hal ini disebabkan karena material lignoselulosa mengandung banyak oksigen dan zat asam akan bereaksi baik dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen (Shofa, 2012).

Hal yang harus diperhatikan dalam proses aktivasi adalah jumlah aktivator yang ditambahkan pada karbon. Rasio karbon/KOH dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi hidrogen. Jumlah aktivator yang sesuai dapat meningkatkan kapasitas

adsorpsi hidrogen. Namun, jika jumlah aktivator yang kurang atau bahkan berlebih akan dapat menurunkan kapasitas adsorpsi hidrogen pada karbon (Shofa, 2012). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan variasi rasio karbon/KOH untuk mengetahui jumlah KOH yang tepat terhadap kapasitas adsorpsi hidrogen yang optimal pada karbon aktif ampas tebu. Variasi rasio karbon/KOH pada penelitian ini didasarkan pada penelitian Amiliyah (2012) yakni sebesar 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4. Amiliyah (2012) telah melakukan penelitian aktivasi KOH pada karbon aktif dari tempurung kelapa dengan metode karbonisasi dan aktivasi sama dengan penelitian ini.

Karbonisasi dilakukan pada suhu 800 °C. Suhu 800 °C merupakan suhu optimal karbonisasi pada material lignoselulosa (Shofa, 2012). Jika suhu karbonisasi terlalu tinggi akan merusak struktur pori yang terbentuk pada karbon. Struktur pori dimungkinkan akan rusak pada suhu diatas 800 °C sehingga dapat menurunkan porositas pada karbon (Teng, 2000). Reaksi kimia yang terjadi pada saat karbonisasi menurut Susanti (2016) adalah sebagai berikut



Berdasarkan reaksi tersebut, proses karbonisasi menghasilkan beberapa senyawa diantaranya gas karbon dioksida, uap air dan senyawa karbonat. Pada saat karbonisasi, gas karbon dioksida dapat bereaksi kembali dengan KOH menghasilkan senyawa karbonat lagi. Reaksi diatas juga menghasilkan uap air, karena KOH merupakan zat penghidrasi. Atom kalium yang terbentuk selama proses karbonisasi akan mengalami interkalasi

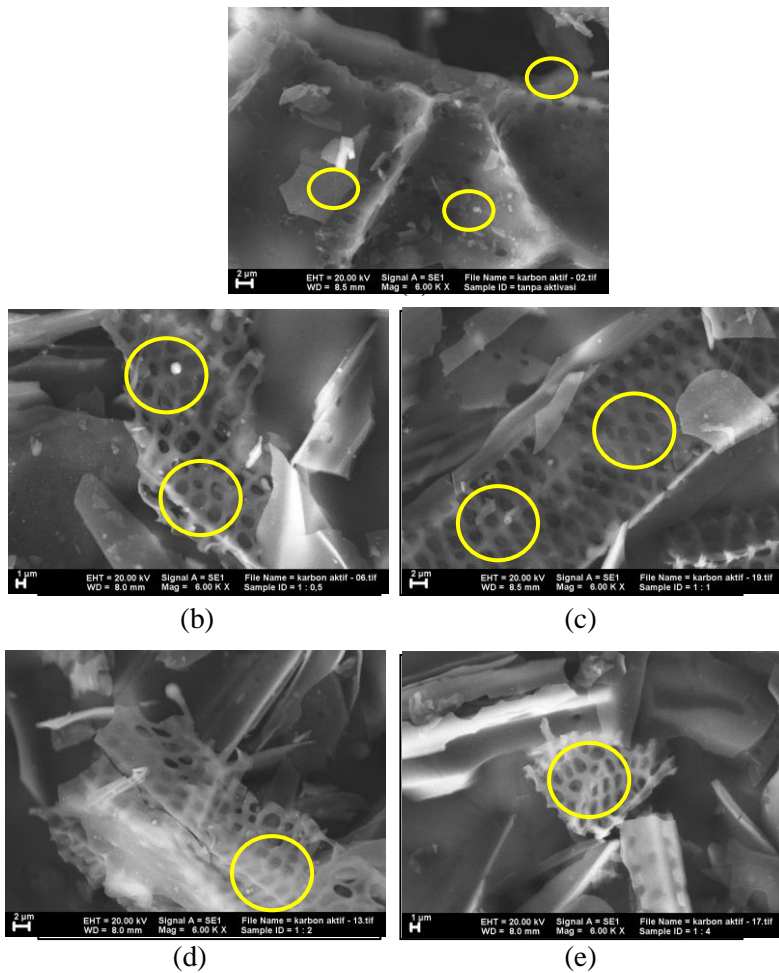
dengan baik untuk mengembangkan dan membentuk mikropori pada karbon.

Tahap selanjutnya setelah proses karbonisasi selesai adalah pencucian dengan HCl 2M dan air demineralisasi. Proses pencucian dengan HCl 2M bertujuan untuk menghilangkan kandungan aktivator KOH yang masih terkandung dalam karbon dan menghilangkan garam-garam anorganik (Sevilla dkk., 2010). Pencucian dengan air demineralisasi ini bertujuan untuk menghilangkan ion  $\text{Cl}^-$  yang masih terdapat dalam karbon aktif. Setelah itu, karbon dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 1 jam untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada karbon aktif.

#### **4.2 Karakterisasi Karbon Aktif**

Karakterisasi pada penelitian ini diawali dengan pengujian menggunakan instrumen SEM untuk mengetahui morfologi permukaan karbon aktif hasil sintesis dari ampas tebu. Hasil analisa menggunakan instrumen SEM dapat dilihat pada Gambar 4.4. Berdasarkan hasil uji menggunakan SEM pada karbon aktif dari ampas tebu dengan variasi konsentrasi KOH dapat dilihat morfologi permukaan karbon aktif. Gambar 4.4(a) merupakan gambar mikroskop SEM dari sampel karbon aktif tanpa aktivasi KOH. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa Karbon aktif yang terbentuk memiliki permukaan yang berpori. Namun jumlah pori yang terlihat sangat terbatas, sehingga hal tersebut menyebabkan karbon aktif ampas tebu tanpa aktivasi kimia tidak optimal jika diaplikasikan sebagai penyimpanan hidrogen.

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa terjadi penambahan jumlah pori pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:0,5, 1:1 dan 1:2. Namun, pada sampel karbon/KOH 1:4 menunjukkan jumlah pori yang terbatas seperti yang ditunjukkan oleh karbon tanpa adanya aktivasi. Hal ini disebabkan karena atom kalium yang berlebih pada karbon aktif dapat merusak struktur pori yang terbentuk (Amiliyah, 2012).



Gambar 4.4 Mikrograf SEM dari Sampel : (a) Karbon Aktif Tanpa Aktivasi, (b) Karbon/KOH 1:0,5, (c) Karbon/KOH 1:1, (d) Karbon/KOH 1:2, (e) Karbon/KOH 1:4.

Struktur pori dapat mempengaruhi luas permukaan pada karbon aktif. Semakin kecil ukuran pori yang dihasilkan, maka luas permukaan yang didapatkan akan semakin besar, sehingga karbon aktif dapat mengadsorpsi hidrogen secara optimal. Berdasarkan hasil uji SEM menunjukkan bahwa penampakan pori terbanyak ditunjukkan oleh sampel karbon/KOH 1:1. Untuk mengetahui besar luas permukaan, total pori, dan volume pori pada sampel karbon/KOH 1:1 dilakukan pengujian dengan menggunakan metode BET. Hasil uji BET pada karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji BET Sampel Karbon/KOH 1:1

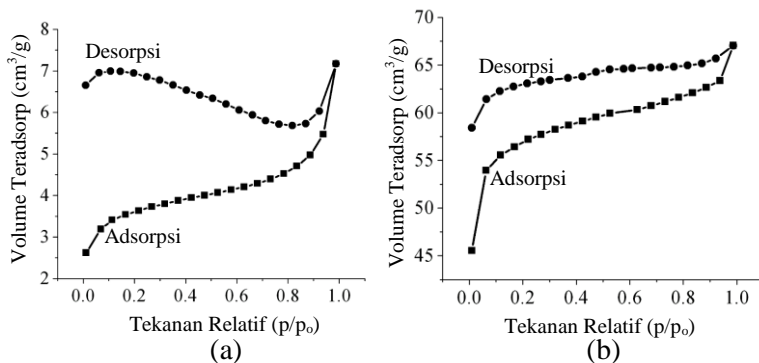
Karbon Aktif	Luas Permukaan SSA ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume Total Pori ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Rata-rata Ukuran Pori (nm)
Tanpa Aktivasi Kimia	12	0,011	4
Karbon/KOH 1:1	178	0,104	2

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan metode BET dapat dilihat bahwa luas permukaan meningkat menjadi sebesar  $178 \text{ m}^2/\text{g}$  setelah diaktivasi dengan KOH. Hal tersebut disebabkan oleh adanya proses interkalasi KOH terhadap karbon yang dapat mengubah struktur makropori karbon menjadi struktur mikropori sehingga mampu menghasilkan luas permukaan yang tinggi.

Mekanisme pembentukan pori melalui aktivasi KOH terjadi sangat cepat. Proses aktivasi pada karbon dari selulosa sama dengan proses aktivasi pada karbon yang terbuat dari polimer. Proses aktivasi tersebut mengalami tahap inisiasi dan tahap propagasi. Struktur mikropori yang terbentuk dipengaruhi oleh ion  $\text{K}^+$  yang diperoleh dari KOH. Pada tahap inisiasi, ion  $\text{K}^+$  membentuk struktur mikropori, sedangkan pada tahap propagasi beberapa struktur mikropori rusak oleh ion  $\text{K}^+$  sehingga membentuk struktur mesopori. Struktur mesopori yang terbentuk

selama proses aktivasi inilah yang menyebabkan luas permukaan pada karbon aktif berkurang (Amiliyah, 2012).

Besar ukuran pori sangat menentukan kapasitas karbon aktif dalam mengadsorpsi gas hidrogen. Berdasarkan grafik isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen ( $N_2$ ) dari karbon aktif yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dapat dilihat perilaku adsorpsi isoterm dari karbon aktif yang telah disintesis.



Gambar 4.6 Grafik Isoterm Adsorpsi-desorpsi  $N_2$  : (a) Karbon Aktif Tanpa Aktivasi, (b) Karbon/KOH 1:1.

Pada Gambar 4.6(a) dapat dilihat bahwa karbon aktif tanpa aktivasi KOH memiliki grafik isoterm tipe III. Grafik tipe III merupakan ciri dari adsorben yang memiliki struktur makropori. Sedangkan pada Gambar 4.6(b) menunjukkan bahwa karbon aktif yang telah diaktivasi KOH dengan rasio karbon/KOH 1:1 memiliki grafik isoterm tipe I. Grafik tipe I merupakan grafik *Langmuir Isoterm* yang menggambarkan adsorpsi satu lapis atau *monolayer*. Tipe grafik ini merupakan ciri dari adsorben yang memiliki struktur mikropori.

Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 memperlihatkan adanya histeresis yang terbuka. Histeresis yang terbuka diakibatkan karena adanya bentuk pori botol tinta “*ink pore bottle*”. Bentuk pori tersebut memiliki leher

pori yang sempit dan badan pori yang lebar sehingga molekul  $N_2$  sangat lambat bergerak. Oleh sebab itu, disarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan pengujian adsorpsi-desorpsi  $CO_2$ . Molekul  $CO_2$  mampu bergerak cepat dalam pori sempit, sehingga akan didapatkan luas permukaan yang lebih besar (Mai, 2015). Ilustrasi bentuk pori botol tinta dapat dilihat pada Gambar 4.7.



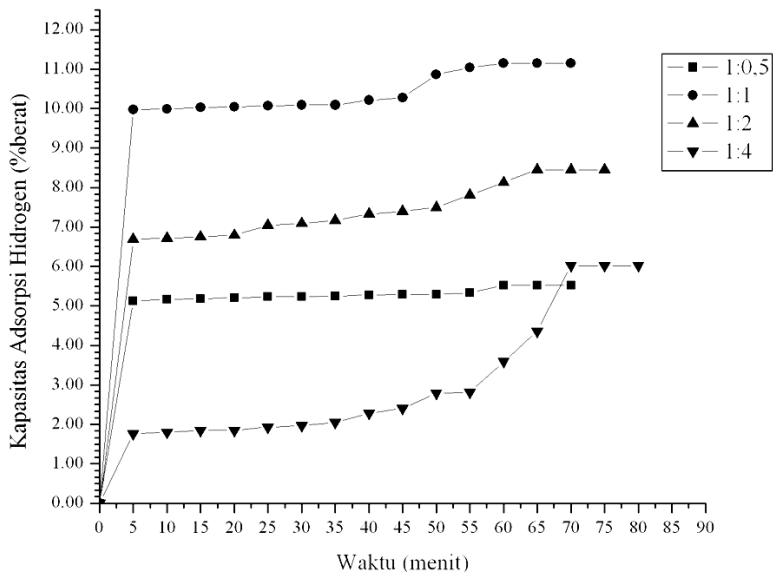
Gambar 4.7 Bentuk Pori Botol Tinta

#### 4.3 Hasil Uji Kapasitas Penyimpanan Hidrogen

Pada penelitian ini, sampel karbon aktif yang telah diaktivasi secara kimia dengan KOH diuji kapasitas penyimpanannya terhadap gas hidrogen. Proses pengukuran kapasitas adsorpsi hidrogen diuji dengan metode gravimetri. Hasil pengukuran kapasitas adsorpsi gas hidrogen pada karbon aktif kemudian dikonversi menjadi persen berat. Hasil adsorpsi dari masing-masing sampel karbon dapat dilihat pada Gambar 4.8 yang dibuat dengan cara memplotkan kapasitas adsorpsi (% berat) terhadap waktu (menit). Kapasitas penyimpanan hidrogen pada karbon aktif yang telah disintesis juga dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi gas hidrogen pada keempat sampel mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu adsorpsi hingga didapatkan data konstan. Pada adsorpsi yang dilakukan oleh sampel dengan rasio karbon/KOH 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2 terjadi kenaikan yang signifikan dalam 5 menit pertama yaitu berturut-turut sebesar 5,13% ; 9,97%

dan 6,69% berat. Data adsorpsi tersebut terus mengalami kenaikan secara bertahap hingga mencapai kesetimbangan. Proses adsorpsi sampel dengan rasio karbon/KOH 1:0,5 dan 1:1 mencapai konstan pada menit ke-70. Kedua sampel tersebut menghasilkan data adsorpsi maksimal berturut-turut sebesar 5,52% dan 11,15% berat. Sedangkan pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:2 berakhir pada menit ke-75 dengan data adsorpsi maksimal sebesar 8,45% dan pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:4 berakhir pada menit ke-80 dengan data adsorpsi maksimal sebesar 6,02%. Perbedaan hasil kapasitas adsorpsi tersebut disebabkan adanya perbedaan jumlah struktur mikropori yang terdapat pada masing-masing karbon aktif. Semakin banyak struktur mikropori karbon aktif, maka semakin besar pula kapasitas adsorpsinya.



Gambar 4.8 Graffik Adsorpsi Gas Hidrogen



Tabel 4.2 Hasil Adsorpsi Gas Hidrogen pada Suhu 30 °C dengan Tekanan 2 pascal

Material Karbon/KOH	Waktu Aktivasi (menit)	Kapasitas Gas H <sub>2</sub> Terasorpsi (% berat)
1:0,5	70	5,51
1:1	70	11,15
1:2	75	8,45
1:4	70	6,02

Berdasarkan hasil analisa adsorpsi gas hidrogen menunjukkan bahwa karbon aktif yang telah disintesis dari ampas tebu dalam penelitian ini memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa penelitian lain. Perbandingan hasil kapasitas adsorpsi hidrogen pada beberapa penelitian lain dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Kapasitas Adsorpsi pada Beberapa Material

Material	Kapasitas Gas H <sub>2</sub> Terasorpsi (% berat)	Pustaka
Karbon Aktif dari Ampas Tebu	11,15	Penelitian ini
Zeolit (ZMOF)	1,6	Calleja dkk., 2010
Zeolitmmn berpendukung serat gelas	4,94	Larasati, 2016
MOF-5	5,1	Juan-Juan dkk., 2010
Karbon Aktif Komersil	5,25	

Pada Tabel 4.3 diketahui bahwa material karbon aktif dari ampas tebu dalam penelitian ini memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen paling besar. Hal ini disebabkan karena abu ampas tebu memiliki kandungan senyawa silika yang tinggi. Kandungan senyawa silika pada abu ampas tebu sebesar 65,33% (Budiman, 2013). Kandungan senyawa silika inilah yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi suatu material (Okada dkk., 1998). Hal ini disebabkan karena permukaan silika memiliki gaya Van Der Waals yang kuat terhadap gas hidrogen ( $H_2$ ) yang diserap sehingga molekul gas hidrogen ( $H_2$ ) tersebut tidak mudah terlepas dan tidak mudah keluar dari pori-pori karbon aktif (Bostrom dan Sernelius, 2012).

Kemampuan silika dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi juga didukung oleh hasil penelitian Larasati (2016). Pada penelitian Larasati (2016), zeolite dengan berpendukung serat gelas mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen menjadi sebesar 4,94% berat dari 1,6% berat pada zeolite tanpa berpendukung apapun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

#### **4.4 Kinetika Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif dari Ampas Tebu**

Studi kinetika adsorpsi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas adsorpsi gas hidrogen pada karbon aktif dari ampas tebu. Beberapa model kinetika adsorpsi telah dihitung untuk menentukan model kinetika adsorpsi yang sesuai, diantaranya adalah : model kinetika orde satu semu (Pseudo Lagergren), model kinetika orde dua semu (Pseudo Ho), model Elovich dan model difusi intrapartikel. Hasil perhitungan beberapa model kinetika adsorpsi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa adsorpsi gas hidrogen pada sampel karbon aktif dari ampas tebu dengan rasio karbon/KOH 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2 mengikuti model kinetika orde kedua semu dengan nilai determinasi regresi ( $R^2$ ) > 0,9, sedangkan sampel dengan rasio 1:4 mengikuti model persamaan

Elovich yang memiliki nilai determinasi regresi ( $R^2$ )  $> 0,8$ . Grafik analisis regresi pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.

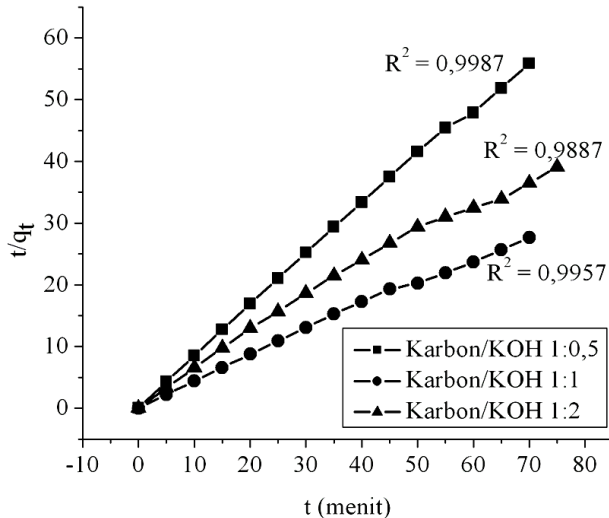
Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Nilai Determinasi Regresi ( $R^2$ ) pada Beberapa Model Kinetika Adsorpsi

Model Kinetika	Nilai Determinasi Regresi ( $R^2$ )			
	Rasio Karbon/KOH			
	1:0.5	1:1	1:2	1:4
Orde Pertama Pseudo Lagergren	0,0714	0,1268	0,1552	0,2482
Orde Kedua Pseudo Ho	0,9987	0,9957	0,9887	0,4113
Persamaan Elovich	0,2577	0,3265	0,4643	0,8279
Difusi Intra Partikel	0,4855	0,5529	0,6783	0,7233

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa adanya garis regresi linear yang menunjukkan kesesuaian model kinetika adsorpsi orde kedua semu pada kinetika adsorpsi hidrogen sampel 1:0.5 ; 1:1 dan 1:2. Hal tersebut juga sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk diaplikasikan pada adsorpsi gas-padatan adalah model kinetika orde kedua semu, diantaranya adalah : adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  (Rashidi dkk., 2013), adsorpsi gas toluena (Wuntu dan Kamu, 2013) dan adsorpsi gas benzena (Holle dkk., 2013) pada karbon aktif.

Untuk kinetika adsorpsi hidrogen pada sampel 1:4, model kinetika adsorpsi yang sesuai adalah model persamaan Elovich. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya garis regresi linear pada grafik Elovich seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Kesesuaian model kinetika adsorpsi Elovich pada adsorpsi gas-padatan juga telah dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya, diantaranya adalah : adsorpsi gas CO pada mangan

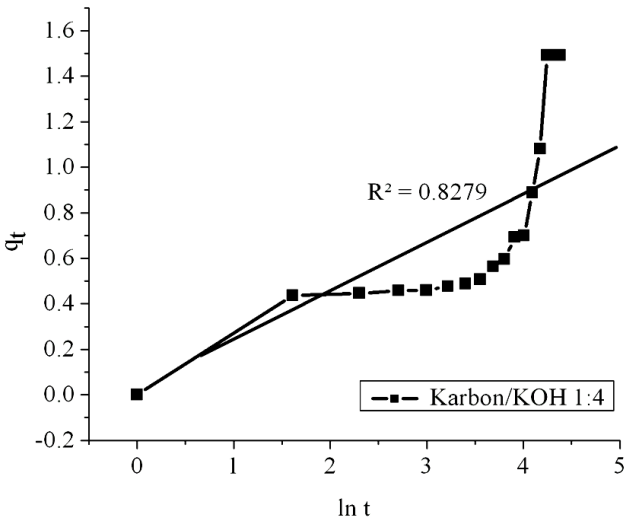
dioksida (Ho, 2006) dan adsorpsi gas nitrogen pada berlian-karbon *coated* (Heimberg dkk., 2001).



Gambar 4.9 Analisis Regresi Berdasarkan Persamaan Orde Kedua Semu pada Sampel 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2

Perbedaan model kinetika adsorpsi pada sampel 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2 dengan model kinetika adsorpsi pada sampel 1:4 disebabkan karena perbedaan keteraturan jarak posisi antar pori pada karbon aktif. Jarak posisi antar pori yang semakin dekat dan teratur, akan menghasilkan model kinetika adsorpsi orde kedua semu. Sedangkan jarak posisi antar pori yang berjauhan dan tidak teratur, akan menghasilkan model kinetika Elovich (Calvelo dkk., 1970).

Dari data yang dihasilkan oleh masing-masing model kinetika yang sesuai dapat ditentukan konstanta laju reaksinya. Hasil perhitungan konstanta laju reaksi pada masing-masing sampel tercantum pada Tabel 4.5.



Gambar 4.10 Analisis Regresi Berdasarkan Persamaan Elovich pada Sampel 1:4

Tabel 4.5 Konstanta Laju Reaksi Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif dari Ampas Tebu Berdasarkan Persamaan Orde Kedua Semu

Sampel	$q_e$ (mg/g)	$K_2$ (g/mg.menit)
1:0,5	55,15	$15 \times 10^{-5}$
1:1	111,52	$7 \times 10^{-5}$
1:2	84,46	$9 \times 10^{-5}$

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa konstanta laju yang paling kecil didapatkan oleh sampel dengan rasio karbon/KOH 1:1. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju adsorpsi pada sampel tersebut lebih cepat dibandingkan dengan kedua sampel lainnya. Kecepatan laju ini disebabkan karena sampel dengan rasio karbon/KOH 1:1 memiliki struktur mikropori yang paling banyak sehingga dapat mengadsorp gas hidrogen lebih banyak dalam

waktu yang sama. Sedangkan pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:4, konstanta laju dihitung berdasarkan persamaan Elovich yakni sebesar 0,0247 mg/g.menit.

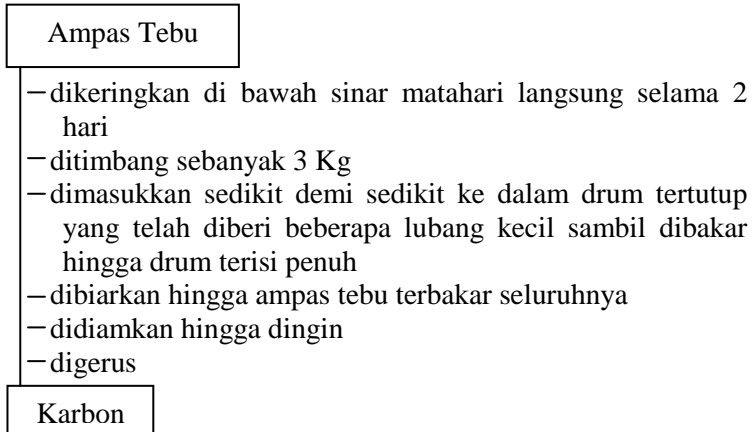
Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan diatas, maka dapat diperoleh informasi bahwa kapasitas adsorpsi hidrogen dan kinetika adsorpsi optimal pada karbon aktif dari ampas tebu diperoleh dari sampel dengan rasio karbon/KOH sebesar 1:1.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **LAMPIRAN A**

### **SKEMA KERJA**

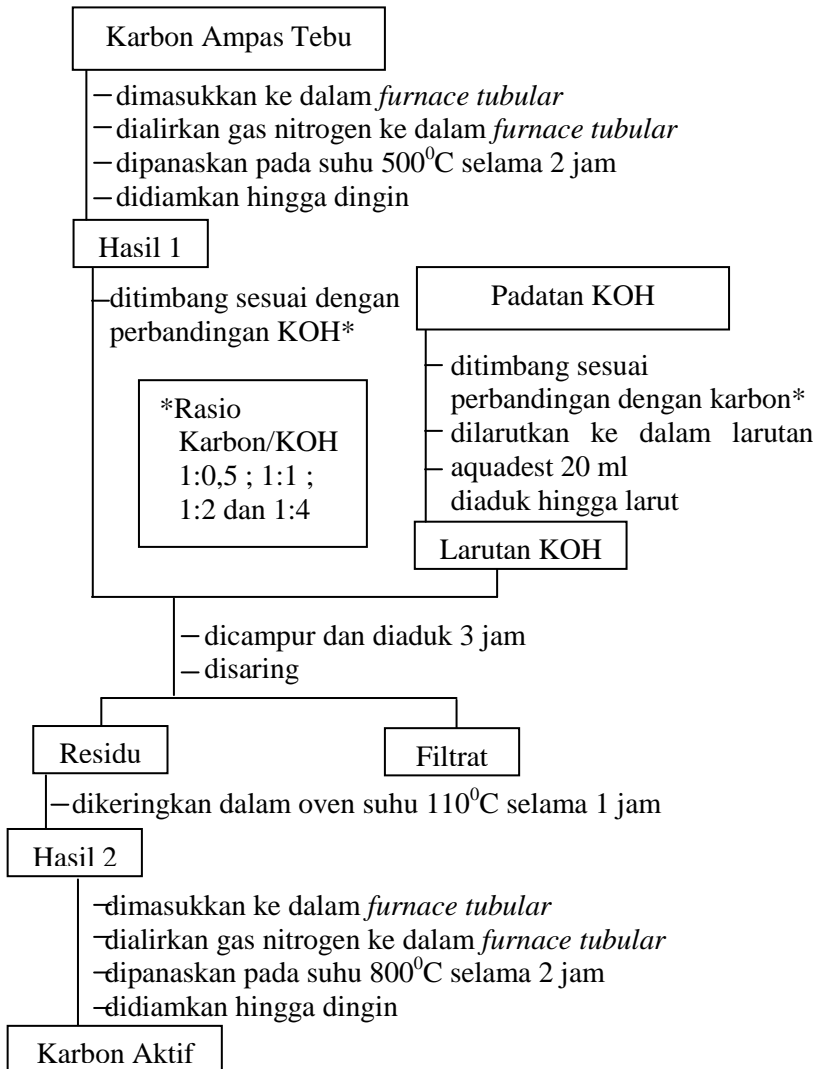
#### **1. Pembuatan Karbon dari Ampas Tebu**



Gambar A.1 Skema Kerja Pembuatan Karbon dari Ampas Tebu

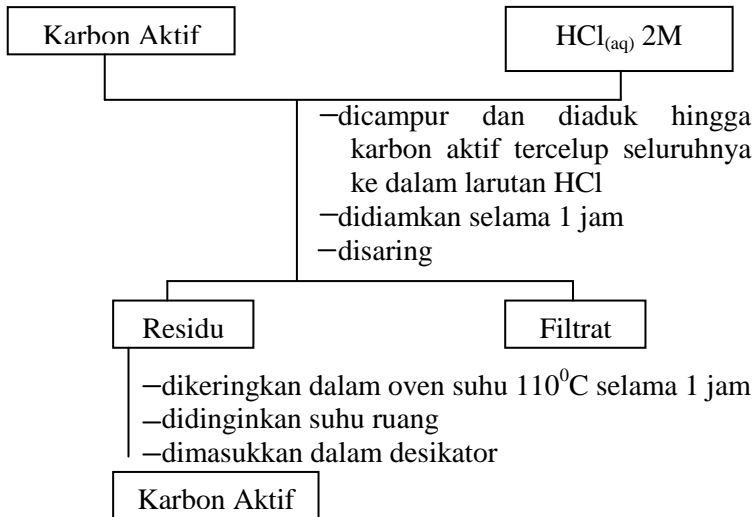


## 2. Proses Aktivasi Karbon menjadi Karbon Aktif



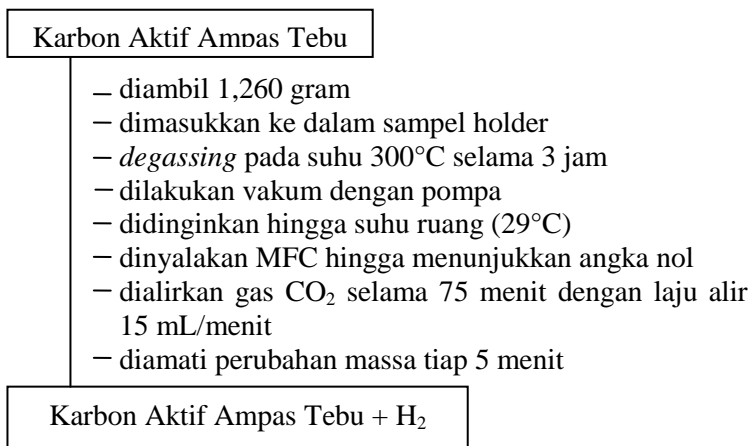
Gambar A.2 Skema Kerja Aktivasi Karbon

### 3. Proses Pencucian Karbon Aktif



Gambar A.3 Skema Kerja Pencucian Karbon Aktif

### 4. Pengujian Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub>



Gambar A.4 Skema Kerja Pengujian Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub>

## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN KAPASITAS ADSORPSI GAS H<sub>2</sub>

#### 1. Cara perhitungan kapasitas adsorpsi gas H<sub>2</sub> secara gravimetri

- Kapasitas adsorpsi gas (% berat) :

$$\%Gas_{(Ads)} = \frac{m_t}{m_0} \times 100\% \quad (B.1)$$

Keterangan :

$m_0$  = massa sampel pada menit ke-0

$m_t$  = massa sampel pada menit ke-t

Contoh :

$m_0$  = 1,3030 g

$m_{t5}$  = 0.068396 g

$$\% \text{ Berat H}_2 (t=5 \text{ menit}) = \frac{0,068396}{1,3030} \times 100\% = 5,131 \%$$

Untuk selanjutnya, perhitungan dilakukan hingga  $m_t$  mencapai waktu kesetimbangan. Hasil dapat dilihat pada Lampiran C.

**LAMPIRAN C****DATA DAN GRAFIK KAPASITAS ADSORPSI GAS H<sub>2</sub>****1. Kapasitas adsorpsi gas H<sub>2</sub> pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:0,5**

Aliran gas H<sub>2</sub> = 15 mL/menit

Suhu adsorpsi = 30 °C

Massa holder = 14,166 gram

Massa sampel (m<sub>0</sub>) = 1,3030 gram

Tekanan luar = 1 bar

Tabel C.1 Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:0,5

<b>t (menit)</b>	<b>Massa sampel pada menit ke-t (gram)</b>	<b>Kapasitas adsorpsi H<sub>2</sub> (% berat)</b>
0	0.000000	0
5	0.068396	5,131
10	0.068929	5,171
15	0.069023	5,178
20	0.069383	5,205
25	0.069743	5,232
30	0.069823	5,238
35	0.069916	5,245
40	0.070369	5,279
45	0.070462	5,286
50	0.070542	5,292
55	0.070996	5,326
60	0.073515	5,515
65	0.073515	5,515
70	0.073515	5,515

**2. Kapasitas adsorpsi gas  $H_2$  pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:1**

Aliran gas  $H_2$  = 15 mL/menit

Suhu adsorpsi = 30 °C

Massa holder = 14,167 gram

Massa sampel ( $m_0$ ) = 1,3100 gram

Tekanan luar = 1 bar

Tabel C.2 Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:1

<b>t (menit)</b>	<b>Massa sampel pada menit ke-t (gram)</b>	<b>Kapasitas adsorpsi H<sub>2</sub> (% berat)</b>
0	0.000	0
5	0.131	9,972
10	0.1309869	9,999
15	0.1314192	10,032
20	0.1315109	10,039
25	0.1318646	10,066
30	0.1321266	10,086
35	0.1322183	10,093
40	0.1337248	10,208
45	0.1345239	10,269
50	0.1422922	10,862
55	0.1446764	11,044
60	0.1460912	11,152
65	0.146	11,152
70	0.146	11,152

**3. Kapasitas adsorpsi gas  $H_2$  pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:2**

Aliran gas  $H_2$  = 15 mL/menit

Suhu adsorpsi = 30 °C

Massa holder = 14,266 gram

Massa holder ( $m_0$ ) = 1,3030 gram

Tekanan luar = 1 bar



Tabel C.3 Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:2

<b>t (menit)</b>	<b>Massa sampel pada menit ke-t (gram)</b>	<b>Kapasitas adsorpsi H<sub>2</sub> (% berat)</b>
0	0.000	0
5	0.087	6,689
10	0.088	6,717
15	0.088	6,750
20	0.089	6,797
25	0.092	7,039
30	0.092	7,085
35	0.093	7,173
40	0.096	7,333
45	0.096	7,401
50	0.098	7,494
55	0.102	7,809
60	0.106	8,131
65	0.110	8,446
70	0.110	8,446
75	0.110	8,446

**4. Kapasitas adsorpsi gas  $H_2$  pada sampel dengan rasio karbon/KOH 1:4**

Aliran gas  $H_2$  = 15 mL/menit

Suhu adsorpsi = 30 °C

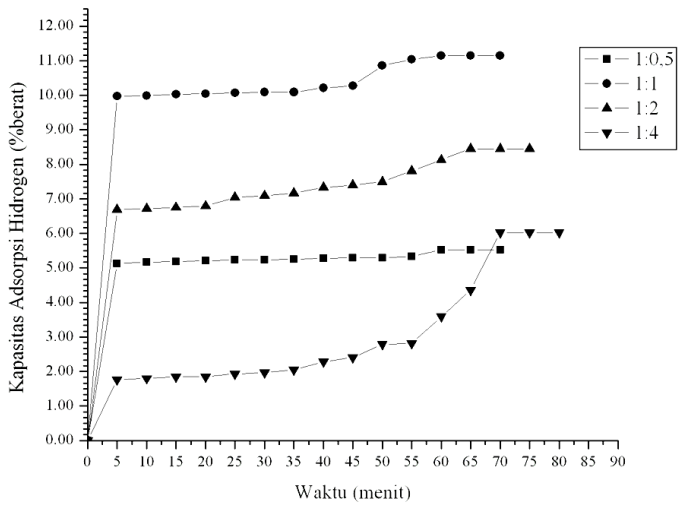
Massa holder = 14,449 gram

Massa holder ( $m_0$ ) = 1,4200 gram

Tekanan luar = 1 bar

Tabel C.4 Kapasitas Adsorpsi H<sub>2</sub> pada Sampel dengan Rasio Karbon/KOH 1:4

<b>t (menit)</b>	<b>Massa sampel pada menit ke-t (gram)</b>	<b>Kapasitas adsorpsi H<sub>2</sub> (% berat)</b>
0	0.000	0
5	0.025	1,761
10	0.026	1,801
15	0.026	1,847
20	0.026	1,854
25	0.027	1,926
30	0.028	1,972
35	0.029	2,045
40	0.032	2,276
45	0.034	2,408
50	0.040	2,797
55	0.040	2,823
60	0.051	3,589
65	0.062	4,361
70	0.086	6,023
75	0.086	6,023
80	0.086	6,023



Gambar C.1 Kurva kapasitas penyimpanan gas H<sub>2</sub> pada sampel dengan variasi rasio 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 dan 1:4

## LAMPIRAN D

### ANALISA DATA KINETIKA

#### 1. Model Kinetika Orde Pertama Semu Pseudo Lagergren

Grafik model kinetika orde pertama semu pseudo lagergren dengan sumbu x berupa t dan sumbu y berupa  $\ln (q_e - q_t)$ .

#### Sampel 1:0,5

Tabel D.1 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu Sampel 1:0,5

ORDE SATU SEMU				
KARBON/KOH 1:0.5				
t	$q_e$ (mmol/g)	$q_t$ (mmol/g)	$(q_e - q_t)$	$\ln (q_e - q_t)$
x				Y
0	1.253409	0.000000	1.253409	0.225867
5	1.253409	1.166136	0.087273	-2.438717
10	1.253409	1.175227	0.078182	-2.548718
15	1.253409	1.176818	0.076591	-2.569277
20	1.253409	1.182955	0.070455	-2.652788
25	1.253409	1.189091	0.064318	-2.743913
30	1.253409	1.190455	0.062955	-2.765342
35	1.253409	1.192045	0.061364	-2.790938
40	1.253409	1.199773	0.053636	-2.925528
45	1.253409	1.201364	0.052045	-2.955638
50	1.253409	1.202727	0.050682	-2.982188
55	1.253409	1.210455	0.042955	-3.147613
60	1.253409	1.253409	0.000000	0.000000
65	1.253409	1.253409	0.000000	0.000000
70	1.253409	1.253409	0.000000	0.000000

**Sampel 1:1**Tabel D.2 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu  
Sampel 1:1

ORDE SATU SEMU				
KARBON/KOH 1:1				
t	$q_e$ (mmol/g)	$q_t$ (mmol/g)	$(q_e - q_t)$	$\ln (q_e - q_t)$
x				y
0	0.146091	0.000000	0.146091	-1.923524
5	0.146091	0.130633	0.015458	-4.169629
10	0.146091	0.130987	0.015104	-4.192776
15	0.146091	0.131419	0.014672	-4.221814
20	0.146091	0.131511	0.014580	-4.228084
25	0.146091	0.131865	0.014227	-4.252642
30	0.146091	0.132127	0.013965	-4.271230
35	0.146091	0.132218	0.013873	-4.277818
40	0.146091	0.133725	0.012366	-4.392772
45	0.146091	0.134524	0.011567	-4.459573
50	0.146091	0.142292	0.003799	-5.573017
55	0.146091	0.144676	0.001415	-6.560767
60	0.146091	0.146091	0.000000	0.000000
65	0.146091	0.146091	0.000000	0.000000
70	0.146091	0.146091	0.000000	0.000000

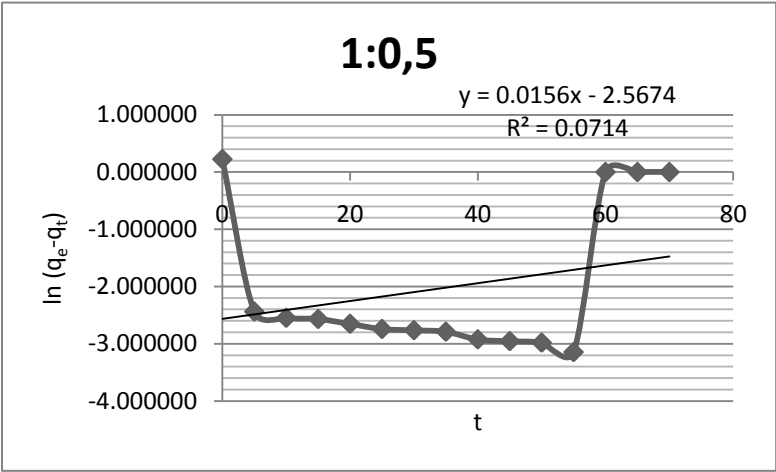
**Sampel 1:2**Tabel D.3 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu  
Sampel 1:2

ORDE SATU SEMU				
KARBON/KOH 1:2				
t	q <sub>e</sub> (mmol/g)	q <sub>t</sub> (mmol/g)	(q <sub>e</sub> -q <sub>t</sub> )	ln (q <sub>e</sub> -q <sub>t</sub> )
x				y
0	0.110051	0.000000	0.110051	-2.206808
5	0.110051	0.087158	0.022894	-3.776893
10	0.110051	0.087523	0.022529	-3.792958
15	0.110051	0.087953	0.022099	-3.812228
20	0.110051	0.088565	0.021486	-3.840332
25	0.110051	0.091718	0.018333	-3.999041
30	0.110051	0.092318	0.017734	-4.032281
35	0.110051	0.093464	0.016587	-4.099125
40	0.110051	0.095549	0.014502	-4.233442
45	0.110051	0.096435	0.013616	-4.296484
50	0.110051	0.097647	0.012405	-4.389691
55	0.110051	0.101751	0.008300	-4.791487
60	0.110051	0.105947	0.004104	-5.495684
65	0.110051	0.110051	0.000000	0.000000
70	0.110051	0.110051	0.000000	0.000000
75	0.110051	0.110051	0.000000	0.000000

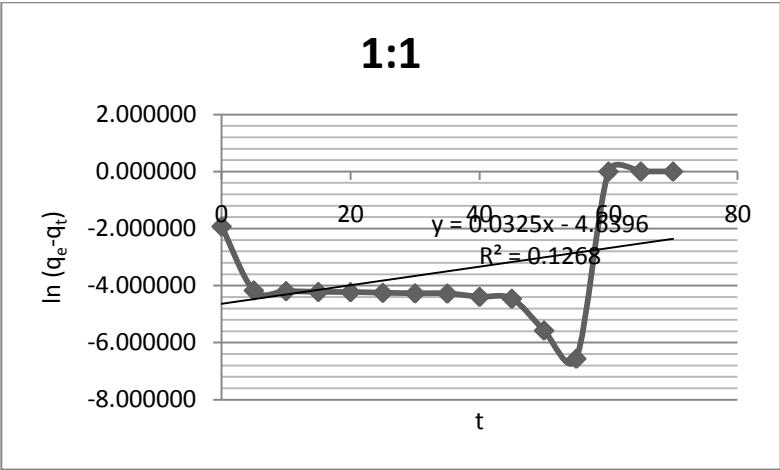
**Sampel 1:4**Tabel D.4 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Pertama Semu  
Sampel 1:4

ORDE SATU SEMU				
KARBON/KOH 1:4				
t	$q_e$ (mmol/g)	$q_t$ (mmol/g)	$(q_e - q_t)$	$\ln (q_e - q_t)$
x				y
0	0.085527	0.000000	0.085527	-2.458928
5	0.085527	0.025006	0.060520	-2.804775
10	0.085527	0.025574	0.059952	-2.814204
15	0.085527	0.026227	0.059299	-2.825159
20	0.085527	0.026327	0.059200	-2.826837
25	0.085527	0.027349	0.058177	-2.844258
30	0.085527	0.028002	0.057524	-2.855550
35	0.085527	0.029039	0.056488	-2.873734
40	0.085527	0.032319	0.053207	-2.933558
45	0.085527	0.034194	0.051333	-2.969421
50	0.085527	0.039717	0.045809	-3.083270
55	0.085527	0.040087	0.045440	-3.091363
60	0.085527	0.050964	0.034563	-3.364977
65	0.085527	0.061926	0.023600	-3.746492
70	0.085527	0.085527	0.000000	0.000000
75	0.085527	0.085527	0.000000	0.000000
80	0.085527	0.085527	0.000000	0.000000

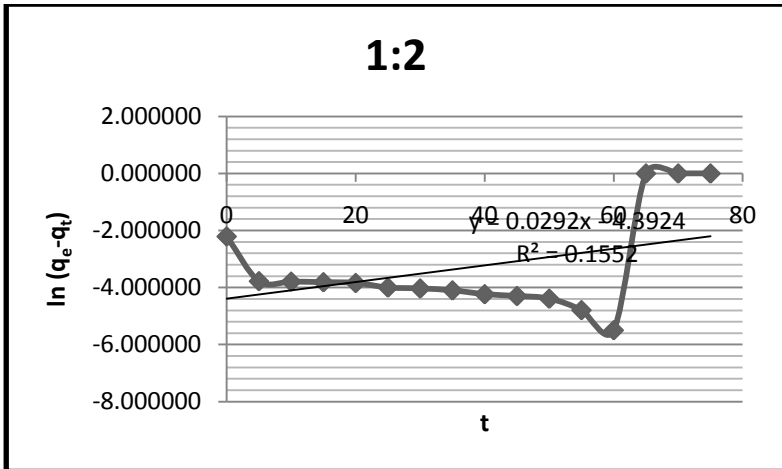




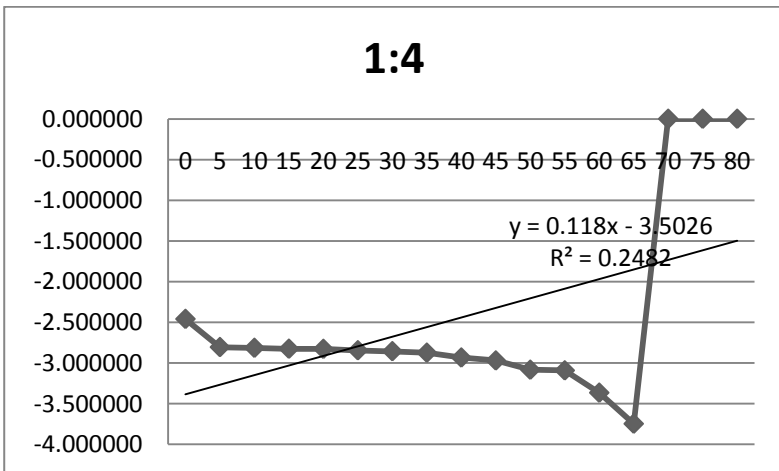
Grafik D.1 Kinetika Model Orde Pertama Semu sampel 1:0,5



Grafik D.2 Kinetika Model Orde Pertama Semu sampel 1:1



Grafik D.3 Kinetika Model Orde Pertama Semu sampel 1:2



Grafik D.4 Kinetika Model Orde Pertama Semu sampel 1:4

## 2. Model Kinetika Orde Kedua Semu Pseudo Ho

Grafik model kinetika orde kedua semu pseudo Ho dibuat dengan sumbu x berupa  $t$  dan sumbu y berupa  $t/q_t$ .

### Sampel 1:0,5

Tabel D.5 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu Sampel 1:0,5

KARBON/KOH 1:0.5		
<b>t</b>	<b>q<sub>t</sub> (mmol/g)</b>	<b>t/q<sub>t</sub></b>
x		Y
0	0.000000	0.00000000
5	1.166136	4.28766322
10	1.175227	8.50899246
15	1.176818	12.7462341
20	1.182955	16.9068204
25	1.189091	21.0244648
30	1.190455	25.2004582
35	1.192045	29.3612965
40	1.199773	33.3396477
45	1.201364	37.4574347
50	1.202727	41.5721844
55	1.210455	45.4374765
60	1.253409	47.869447
65	1.253409	51.8585675
70	1.253409	55.8476881

**Sampel 1:1**Tabel D.6 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu  
Sampel 1:1

KARBON/KOH 1:1		
<b>t</b>	<b>q<sub>t</sub> (mmol/g)</b>	<b>t/q<sub>t</sub></b>
x		y
0	0	0.0000000
5	2.266363636	2.2061773
10	2.2725	4.40044004
15	2.28	6.57894737
20	2.281590909	8.76581333
25	2.287727273	10.927876
30	2.292272727	13.0874479
35	2.293863636	15.2580997
40	2.32	17.2413793
45	2.333863636	19.2813322
50	2.468636364	20.2540969
55	2.51	21.9123506
60	2.534545455	23.6728838
65	2.534545455	25.6456241
70	2.534545455	27.6183644

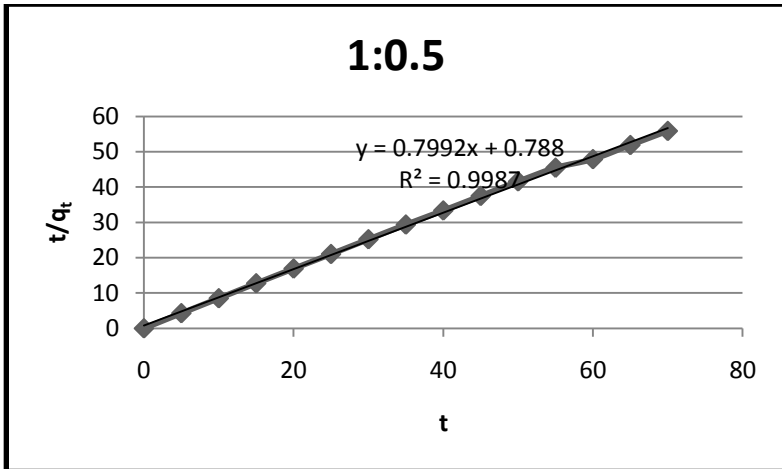
**Sampel 1:2**

Tabel D.7 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu  
Sampel 1:2

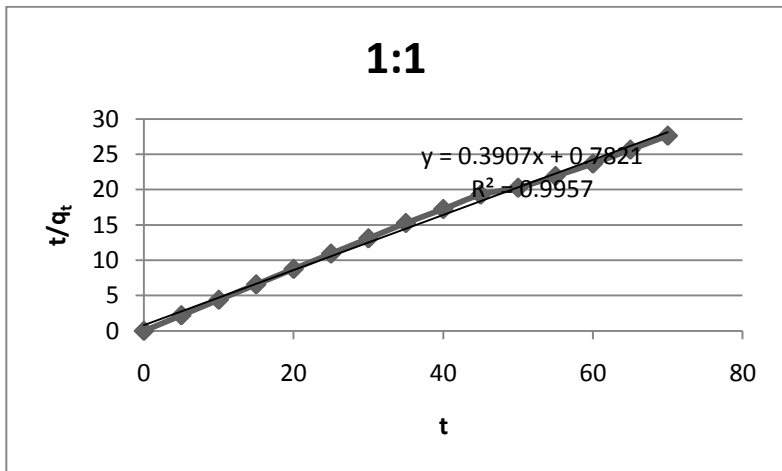
KARBON/KOH 1:2		
t	q <sub>t</sub> (mmol/g)	t/q <sub>t</sub>
x		Y
0	0.000000	0.00000000
5	1.520227	3.28898191
10	1.526591	6.5505434
15	1.534091	9.77777778
20	1.544773	12.9468883
25	1.599773	15.6272198
30	1.610227	18.6309104
35	1.630227	21.4693991
40	1.666591	24.001091
45	1.682045	26.7531415
50	1.703182	29.3568188
55	1.774773	30.9898835
60	1.847955	32.4683311
65	1.919545	33.8621833
70	1.919545	36.4669666
75	1.919545	39.0717499

**Sampel 1:4**Tabel D.8 Perhitungan Data Model Kinetika Orde Kedua Semu  
Sampel 1:4

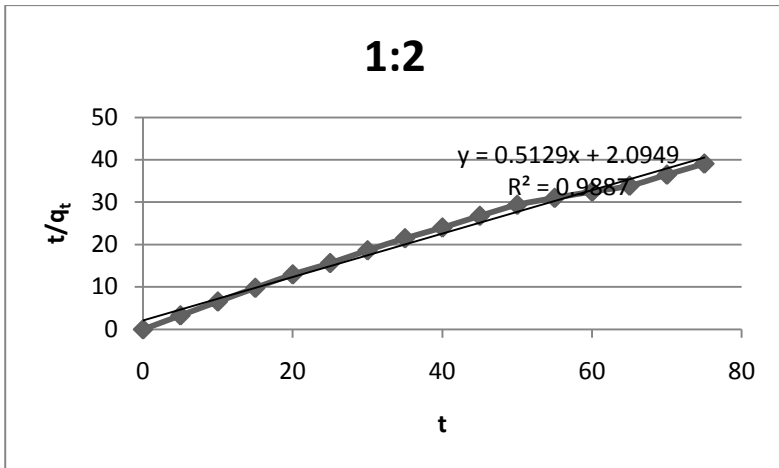
KARBON/KOH 1:4		
t	q <sub>t</sub> (mmol/g)	t/q <sub>t</sub>
x		y
0	0.000000	0.000000
5	0.436165	11.46356
10	0.446072	22.41791
15	0.457465	32.78937
20	0.459199	43.5541
25	0.477032	52.40738
30	0.488425	61.42188
35	0.506506	69.10086
40	0.563720	70.9572
45	0.596414	75.45096
50	0.692761	72.17492
55	0.699201	78.6612
60	0.990000	60.60606
65	1.080133	60.17776
70	1.491778	46.92388
75	1.491778	50.27559
80	1.491778	53.62729



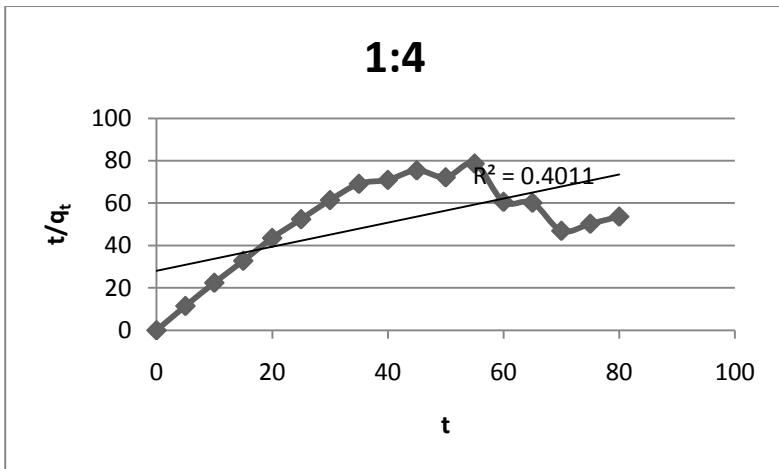
Grafik D.5 Kinetika Model Orde Kedua Semu sampel 1:0,5



Grafik D.6 Kinetika Model Orde Kedua Semu sampel 1:1



Grafik D.7 Kinetika Model Orde Kedua Semu sampel 1:2



Grafik D.8 Kinetika Model Orde Kedua Semu sampel 1:4



### 3. Model Kinetika Difusi Intrapartikel

Grafik model kinetika Difusi Intrapartikel dibuat dengan sumbu x berupa  $t^{1/2}$  dan sumbu y berupa  $q_t$ .

#### Sampel 1:0,5

Tabel D.9 Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel  
Sampel 1:0,5

KARBON/KOH 1:0.5		
t	$q_t$ (mmol/g)	$t^{1/2}$
	Y	x
0	0.000000	0.000
5	1.166136	2.236
10	1.175227	3.162
15	1.176818	3.873
20	1.182955	4.472
25	1.189091	5.000
30	1.190455	5.477
35	1.192045	5.916
40	1.199773	6.325
45	1.201364	6.708
50	1.202727	7.071
55	1.210455	7.416
60	1.253409	7.746
65	1.253409	8.062
70	1.253409	8.367

**Sampel 1:1**Tabel D.10 Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel  
Sampel 1:1

KARBON/KOH 1:1		
<b>t</b>	<b>q<sub>t</sub> (mmol/g)</b>	<b>t<sup>1/2</sup></b>
	y	x
0	0	0.000
5	0.1306332	2.236
10	0.1309869	3.162
15	0.1314192	3.873
20	0.1315109	4.472
25	0.1318646	5.000
30	0.1321266	5.477
35	0.1322183	5.916
40	0.1337248	6.325
45	0.1345239	6.708
50	0.1422922	7.071
55	0.1446764	7.416
60	0.1460912	7.746
65	0.1460912	8.062
70	0.1460912	8.367

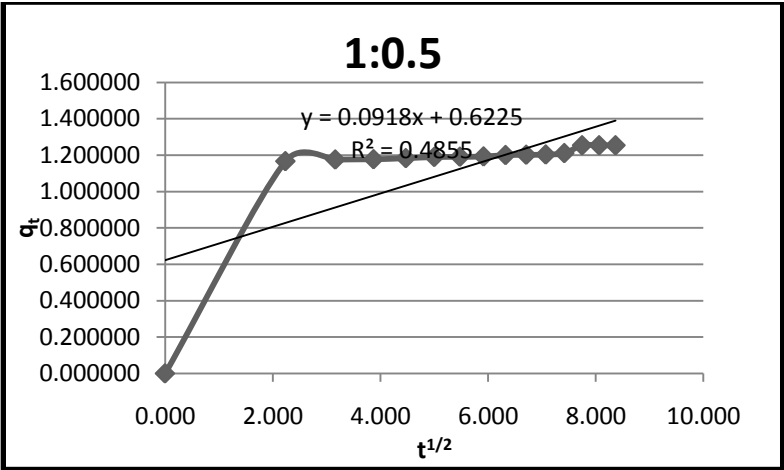
**Sampel 1:2**

Tabel D.11 Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel  
Sampel 1:2

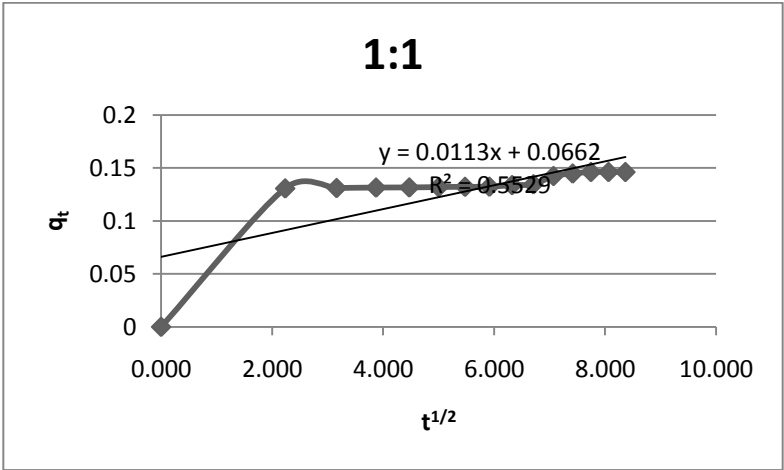
KARBON/KOH 1:2		
t	$q_t$ (mmol/g)	$t^{1/2}$
	Y	x
0	0.000000	0.000
5	0.087158	2.236
10	0.087523	3.162
15	0.087953	3.873
20	0.088565	4.472
25	0.091718	5.000
30	0.092318	5.477
35	0.093464	5.916
40	0.095549	6.325
45	0.096435	6.708
50	0.097647	7.071
55	0.101751	7.416
60	0.105947	7.746
65	0.110051	8.062
70	0.110051	8.367
75	0.110051	8.660

**Sampel 1:4**Tabel D.12 Perhitungan Data Model Kinetika Difusi Intrapartikel  
Sampel 1:4

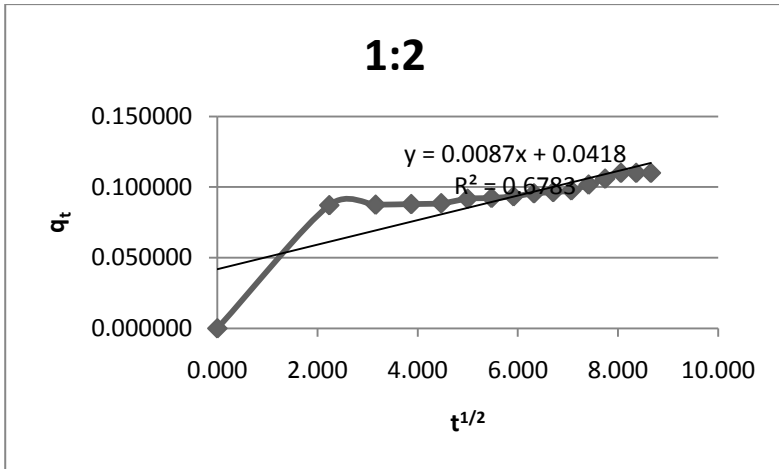
KARBON/KOH 1:4		
t	q <sub>t</sub> (mmol/g)	t <sup>1/2</sup>
	y	X
0	0.000000	0.000
5	0.025006	2.236
10	0.025574	3.162
15	0.026227	3.873
20	0.026327	4.472
25	0.027349	5.000
30	0.028002	5.477
35	0.029039	5.916
40	0.032319	6.325
45	0.034194	6.708
50	0.039717	7.071
55	0.040087	7.416
60	0.050964	7.746
65	0.061926	8.062
70	0.085527	8.367
75	0.085527	8.660
80	0.085527	8.944



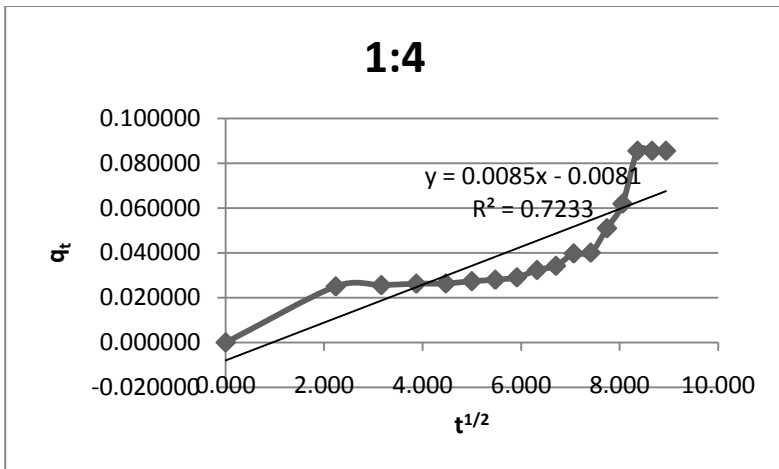
Grafik D.9 Kinetika Model Difusi Intrapartikel sampel 1:0,5



Grafik D.10 Kinetika Model Difusi Intrapartikel sampel 1:1



Grafik D.11 Kinetika Model Difusi Intrapartikel sampel 1:2



Grafik D.12 Kinetika Model Difusi Intrapartikel sampel 1:4

#### 4. Model Kinetika Elovich

Grafik model kinetika Elovich dibuat dengan sumbu x berupa  $\ln t$  dan sumbu y berupa  $q_t$ .

##### Sampel 1:0,5

Tabel D.13 Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:0,5

KARBON/KOH 1:0.5		
t	$q_t$ (mmol/g)	$\ln t$
	Y	x
0	0.000000	0.000000
5	1.166136	1.609438
10	1.175227	2.302585
15	1.176818	2.70805
20	1.182955	2.995732
25	1.189091	3.218876
30	1.190455	3.401197
35	1.192045	3.555348
40	1.199773	3.688879
45	1.201364	3.806662
50	1.202727	3.912023
55	1.210455	4.007333
60	1.253409	4.094345
65	1.253409	4.174387
70	1.253409	4.248495

**Sampel 1:1**

Tabel D.14 Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:1

KARBON/KOH 1:1		
<b>t</b>	<b>q<sub>t</sub> (mmol/g)</b>	<b>ln t</b>
	y	x
0	0.000000	0.000000
5	0.130633	1.609438
10	0.130987	2.302585
15	0.131419	2.70805
20	0.131511	2.995732
25	0.131865	3.218876
30	0.132127	3.401197
35	0.132218	3.555348
40	0.133725	3.688879
45	0.134524	3.806662
50	0.142292	3.912023
55	0.144676	4.007333
60	0.146091	4.094345
65	0.146091	4.174387
70	0.146091	4.248495



**Sampel 1:2**

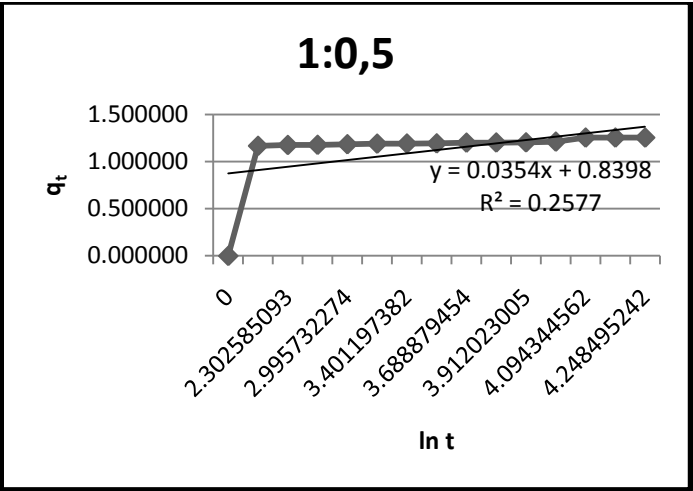
Tabel D.15 Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:2

KARBON/KOH 1:2		
t	q <sub>t</sub> (mmol/g)	ln t
	y	X
0	0.000000	0.000000
5	1.520227	1.609438
10	1.526591	2.302585
15	1.534091	2.70805
20	1.544773	2.995732
25	1.599773	3.218876
30	1.610227	3.401197
35	1.630227	3.555348
40	1.666591	3.688879
45	1.682045	3.806662
50	1.703182	3.912023
55	1.774773	4.007333
60	1.847955	4.094345
65	1.919545	4.174387
70	1.919545	4.248495
75	1.919545	4.317488

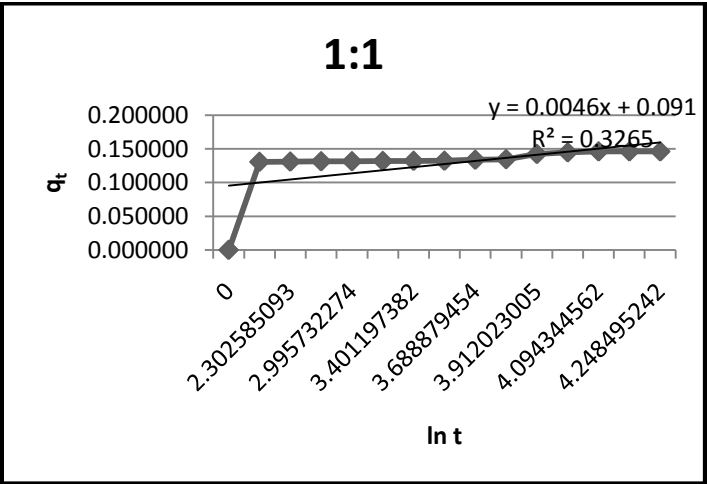
**Sampel 1:4**

Tabel D.16 Perhitungan Data Model Kinetika Elovich Sampel 1:4

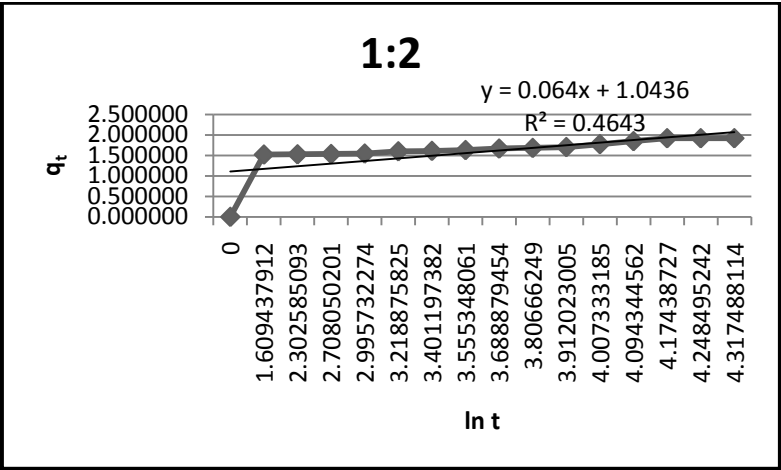
KARBON/KOH 1:4		
t	q <sub>t</sub> (mmol/g)	ln t
	y	X
0	0.000000	0.000000
5	0.436165	1.609438
10	0.446072	2.302585
15	0.457465	2.70805
20	0.459199	2.995732
25	0.477032	3.218876
30	0.488425	3.401197
35	0.506506	3.555348
40	0.563720	3.688879
45	0.596414	3.806662
50	0.692761	3.912023
55	0.699201	4.007333
60	0.888924	4.094345
65	1.080133	4.174387
70	1.491778	4.248495
75	1.491778	4.317488
80	1.491778	4.382027



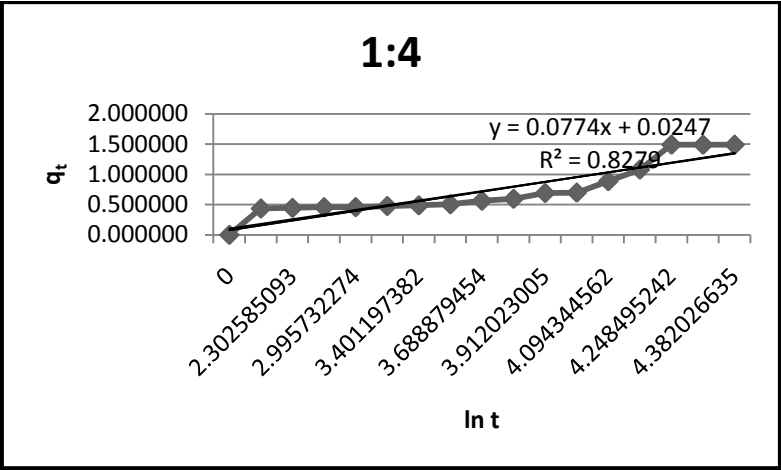
Grafik D.13 Kinetika Model Elovich sampel 1:0,5



Grafik D.14 Kinetika Model Elovich sampel 1:1



Grafik D.15 Kinetika Model Elovich sampel 1:2



Grafik D.16 Kinetika Model Elovich sampel 1:4

## 5. Perhitungan Konstanta Laju

Konstanta laju dihitung berdasarkan model kinetika yang sesuai, yakni sampel 1:0,5 ; 1:1 dan 1:2 menggunakan persamaan orde kedua semu, sedangkan sampel 1:4 menggunakan persamaan Elovich.

### Konstanta Laju Persamaan Orde Kedua Semu

$$k_2 = \frac{1}{2t_e q_e} \quad (D.1)$$

Keterangan:

$k_2$  : Konstanta Laju (g/mgmenit)

$t_e$  : Waktu kesetimbangan

$q_e$  : Kapasitas adsorpsi kesetimbangan

Contoh :

$t_e = 70$  menit

$q_e = 55,15$  mg/g

$$k_2 = \frac{1}{2(70)(55,15)} = 1,5 \times 10^{-4} \text{ g/mgmenit}$$

### Konstanta Laju Persamaan Elovich

Konstanta laju persamaan Elovich didapatkan dari intersept grafik persamaan Elovich, sehingga besar konstanta laju pada sampel 1:4 sebesar 0,0247 mg/gmenit.

Untuk selanjutnya, perhitungan dilakukan pada sampel yang lainnya. Hasil dapat dilihat pada Tabel D.17.

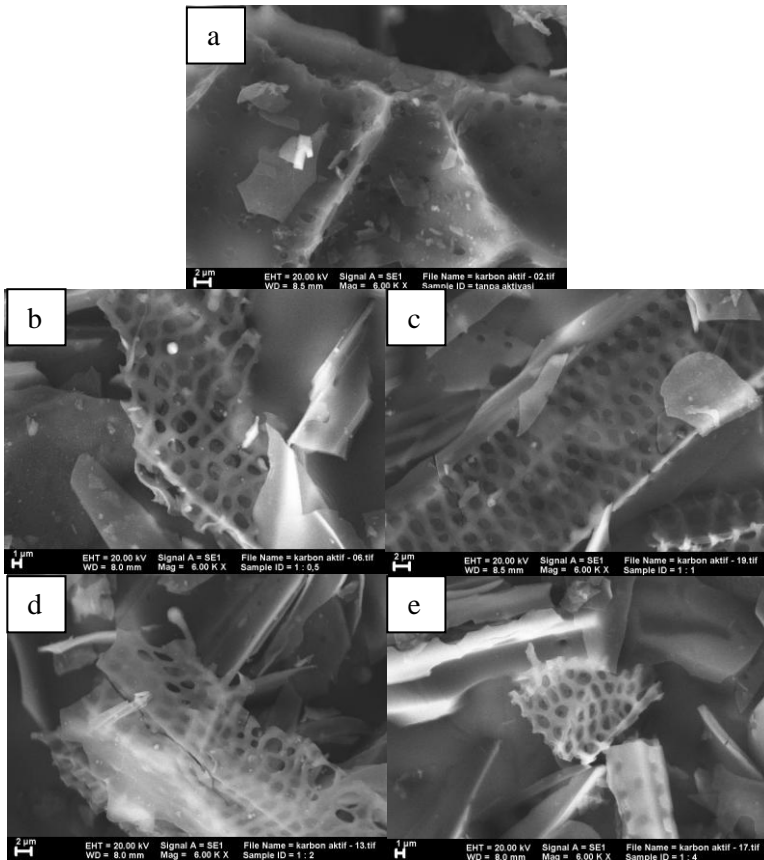
Tabel D.17 Hasil Perhitungan Konstanta Laju Persamaan Orde Kedua Pseudo Lagergren

<b>Sampel</b>	<b>q<sub>e</sub> (mg/g)</b>	<b>K<sub>2</sub> (g/mgmenit)</b>
1:0,5	55,15	$1,5 \times 10^{-4}$
1:1	111,52	$0,7 \times 10^{-4}$
1:2	84,46	$0,8 \times 10^{-4}$

## LAMPIRAN E

### HASIL ANALISIS SEM

#### 1. Hasil sintesis karbon aktif dari ampas tebu



Gambar E.1. Mikrograf SEM dari Sampel : (a) Karbon Aktif Tanpa Aktivasi, (b) Karbon/KOH 1:0,5, (c) Karbon/KOH 1:1, (d) Karbon/KOH 1:2, (e) Karbon/KOH 1:4.

## LAMPIRAN F

### HASIL ANALISIS BET

#### 1. Hasil analisis BET karbon aktif tanpa aktivasi

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

Unit 1

Serial #: 2041

Page 1

Sample: CA Tanpa Aktivasi  
 Operator: Lab Kimia  
 Submitter: UNJ  
 File: C:\2020\DATA\000-068.SMP

Started: 6/30/2016 7:26:34AM	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 6/30/2016 9:46:19AM	Analysis Bath Temp.: -195.777 °C
Report Time: 6/30/2016 11:39:55AM	Thermal Correction: No
Sample Mass: 0.3000 g	Warm Free Space: 27.4572 cm <sup>3</sup> Measured
Cold Free Space: 83.4916 cm <sup>3</sup>	Equilibration Interval: 5 s
Ambient Temperature: 22.00 °C	Low Pressure Dose: None
Automatic Degas: Yes	

#### Summary Report

##### Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.268399327: 11.8811 m<sup>2</sup>/gBET Surface Area: 11.6984 m<sup>2</sup>/gLangmuir Surface Area: 24.8894 m<sup>2</sup>/gt-Plot Micropore Area: 6.8958 m<sup>2</sup>/gt-Plot External Surface Area: 4.8026 m<sup>2</sup>/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 3.856 m<sup>2</sup>/g

BJH Desorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.4168 m<sup>2</sup>/g

##### Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
 less than 158.3788 nm diameter at P/Po = 0.987747722: 0.011093 cm<sup>3</sup>/g

t-Plot micropore volume: 0.003468 cm<sup>3</sup>/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.007089 cm<sup>3</sup>/g

BJH Desorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.002730 cm<sup>3</sup>/g

##### Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A by BET): 3.79283 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 7.3541 nm

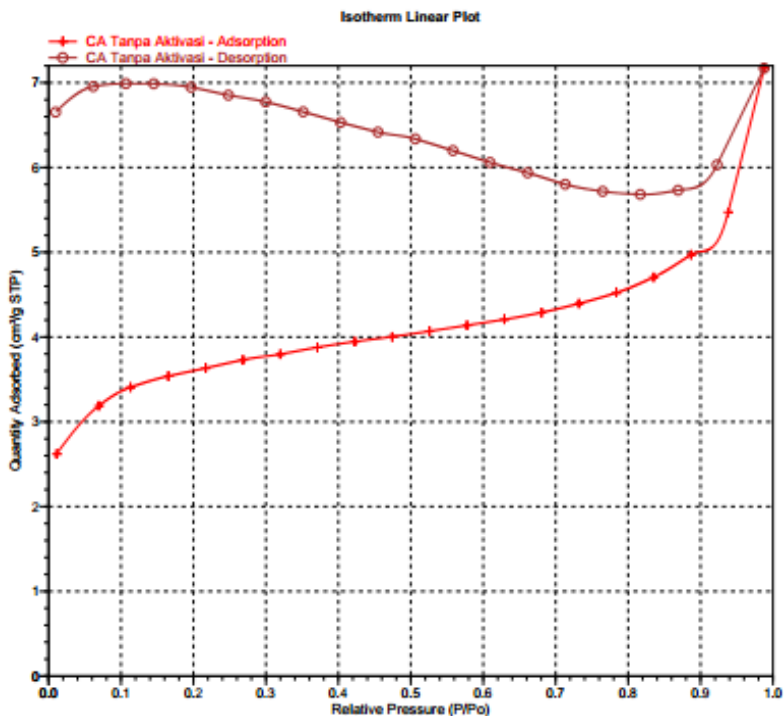
BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 26.1992 nm



Sample: CA Tanpa Aktivasi  
Operator: Lab Kimia  
Submitter: UNJ  
File: C:\2020\DATA\000-068.SMP

Started: 6/30/2016 7:26:34AM  
Completed: 6/30/2016 9:46:19AM  
Report Time: 6/30/2016 11:39:55AM  
Sample Mass: 0.3000 g  
Cold Free Space: 83.4916 cm<sup>3</sup>  
Ambient Temperature: 22.00 °C  
Automatic Degas: Yes

Analysis Adsorptive: N<sub>2</sub>  
Analysis Bath Temp.: -195.777 °C  
Thermal Correction: No  
Warm Free Space: 27.4572 cm<sup>3</sup> Measured  
Equilibration Interval: 5 s  
Low Pressure Dose: None



Gambar F.1. Grafik Isotherm N<sub>2</sub> Karbon Aktif Tanpa Aktivasi

## 2. Hasil analisis BET karbon aktif rasio karbon/KOH 1:1

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

Unit 1

Serial #: 2041

Page 1

Sample: Karbon Aktif : KOH (1:1)  
 Operator: Lab Kimia  
 Submitter: UNJ  
 File: C:\2020\DATA\000-066.SMP

Started: 6/28/2016 11:02:20AM	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 6/29/2016 7:21:32AM	Analysis Bath Temp.: -195.811 °C
Report Time: 6/29/2016 7:21:37AM	Thermal Correction: No
Sample Mass: 0.2700 g	Warm Free Space: 27.1705 cm <sup>3</sup> Measured
Cold Free Space: 83.7102 cm <sup>3</sup>	Equilibration Interval: 5 s
Ambient Temperature: 22.00 °C	Low Pressure Dose: None
Automatic Degas: Yes	

Notes:

### Summary Report

#### Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.269633033: 183.5029 m<sup>2</sup>/gBET Surface Area: 178.3977 m<sup>2</sup>/gLangmuir Surface Area: 284.6867 m<sup>2</sup>/gt-Plot Micropore Area: 144.9819 m<sup>2</sup>/gt-Plot External Surface Area: 33.4158 m<sup>2</sup>/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 25.251 m<sup>2</sup>/g

BJH Desorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 12.2439 m<sup>2</sup>/g

#### Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
 less than 144.9879 nm diameter at P/Po = 0.986595983: 0.103712 cm<sup>3</sup>/g

t-Plot micropore volume: 0.073297 cm<sup>3</sup>/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.025951 cm<sup>3</sup>/g

BJH Desorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.011314 cm<sup>3</sup>/g

#### Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A by BET): 2.32540 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 4.1109 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 3.6963 nm

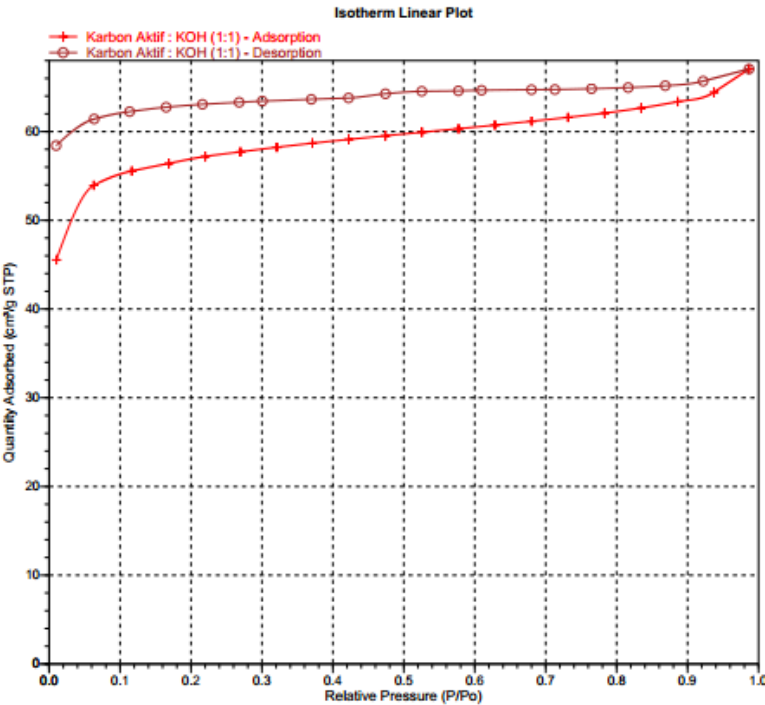
ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)Unit 1Serial #: 2041Page 4

Sample: Karbon Aktif : KOH (1:1)  
Operator: Lab Kimia  
Submitter: UNJ  
File: C:\2020\DATA\000-066.SMP

Started: 6/28/2016 11:02:20AM  
Completed: 6/29/2016 7:21:32AM  
Report Time: 6/29/2016 7:21:37AM  
Sample Mass: 0.2700 g  
Cold Free Space: 83.7102 cm³  
Ambient Temperature: 22.00 °C  
Automatic Degas: Yes

Analysis Adsorptive: N2  
Analysis Bath Temp.: -195.811 °C  
Thermal Correction: No  
Warm Free Space: 27.1705 cm³ Measured  
Equilibration Interval: 5 s  
Low Pressure Dose: None

Notes:



Gambar F.2. Grafik Isoterm N<sub>2</sub> Karbon Aktif rasio karbon/KOH 1:1

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Telah dilakukan pengujian kapasitas adsorpsi hidrogen pada karbon aktif yang disintesis dari ampas tebu dengan menggunakan metode gravimetri. Sintesis karbon aktif dari ampas tebu diaktivasi dengan KOH menghasilkan luas permukaan tertinggi sebesar  $178 \text{ m}^2/\text{g}$  yang didapatkan oleh sampel dengan rasio karbon/KOH 1:1. Kapasitas adsorpsi hidrogen paling optimal didapatkan pada sampel yang sama sebesar 11.15% berat. Model kinetika adsorpsi yang sesuai dengan kinetika adsorpsi gas hidrogen pada sampel tersebut adalah model kinetika orde kedua pseudo lageregren dengan nilai konstanta laju sebesar  $7 \times 10^{-5} \text{ g/mg.menit}$ . Dengan demikian, dapat diperoleh kesimpulan bahwa karbon aktif dari ampas tebu merupakan material penyimpan hidrogen yang murah dan menjanjikan.

#### **5.1 Saran**

Kapasitas adsorpsi hidrogen dalam penelitian ini masih dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai variasi kondisi adsorpsi hidrogen pada suhu ataupun tekanan tertentu. Optimasi lanjutan pada kondisi adsorpsi hidrogen diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Pengukuran luas permukaan dengan menggunakan adsorpsi-desorpsi gas  $\text{CO}_2$ . Selain itu, perlu dilakukan pula penelitian terhadap daya desorpsi hidrogen sehingga dapat menyajikan data potensi karbon aktif dari ampas tebu dalam aplikasi fisisorpsi hidrogen secara utuh.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiliyah, Alif R. (2012). “Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi KOH untuk Adsorpsi Hidrogen”. *Skripsi Jurusan Kimia-FMIPA ITS*, Surabaya.
- Ahmed, A., Abul Quasem Al Amin, Angelina F. Ambrose, dan R. Saidur. (2016). “Hydrogen Fuel and Transport System : A Sustainable and Enviromental Future”, *International Journal of Hydrogen Energy*. 41, 1369-1380.
- Andaka. (2008). “Hidrolisis Ampas Tebu Menjadi Furfural dengan Katalisator Asam Sulfat”, *Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Sains & Teknologi AKPRIND*, Yogyakarta.
- Apriani, R., Faryuni, I.D., dan Wahyuni, D.(2013): “Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut”. *Jurnal Prisma Fisika*, Vol.1 No.2 Hal.82-86. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungputra. Pontianak.
- Atkins P., Overton T., Rourke J., Weller M., Armstrong F. and Hagerman, M. (2010). “Inorganic Chemistry”, W. H. Freeman and Company, New York.
- Bader, Najoua dan Abdelmottaleb Ouederni. (2016). “Optimization of Biomass-Based Carbon aterials for Hydrogen Storage”. *Journal of Energy Storage*. 5, 77-84.
- Balta, M. Tolga, Onder Kizikan, dan Fatih Yilmaz. (2015). “Energy and Exergy Analyses of Integrated Hydrogen Production System Using High Temperature Steam

Electrolysis". *International Journal of Hydrogen Energy*. 41, 8032-8041.

Berg Van Den dan Otero Area n C. (2008). "Materials for Hydrogen Storage : Current Research Trends and Perspectives". *Chem Commun*, 668-81.

Bonelli, B., M. Armandi, K. Cho, R. Ryoo, dan E. Garrone. (2011). "Study of Hydrogen Physisorption on Nanoporous Carbon Materials of Different Origin". *International Journal of Hydrogen Energy*, 36. 7937-7943.

Bostrom, Mathias dan Bo. E. Sernelius. (2012). "Repulsive Van Der Waals Force Due to Hydrogen Exposure on Bilayer Graphene". *Journal of Division of Theory and Modeling*, 83 : 581.

Broom, D.P., C. J. Webb, K. E. Hurst, P. A. Panilla, T. Gennet, C. M. Brown, R. Zacharia, E. Tylianakis, E. Klontzas, G.E. Froudakis, Th.A. Steriotis, P.N. Trikalitis, D.L. Anton, B. Hardy, D. Tamburello, C. Corgnale, B.A. Van Hessel, D. Cossement, R. Chahine, M. Hirscher. (2016). "Outlook and Challenges for Hydrogen Storage in Nanoporous Materials". *Appl. Phys. A*. 122:151.

Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. (1938)." Adsorption of Gases in Multimolecular Layers". *J. Am. Chem. Soc.* :60:309–319.

Budiman, Ari N. (2013). "Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Tanah Lempung Ekspansif". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17, 1.

Calleja, G., J.A. Botas, M. Sanchez, M.G. Orcajo. (2010). "Hydrogen Adsorption Over Zeolite-like MOF Materials

- Modified by Ion Exchange”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 9916-9923.
- Calvelo, A. dan R.E. Cunningham. (1970). “Kinetics of Gas-solid Reactions : Influence of Surface Area and Effective Diffusivity Profils”. *Journal of Catalysis*, 17 : 1-9.
- Collins DJ, Zhou HC. (2007). “Hydrogen Storage in Metaleorganic Frameworks”. *J Mater Chem*;17:3154e60.
- Creamer, Anne Elise, Bin Gao dan Ming Zhang. (2014). “Carbon Dioxide Capture Using Biochar Produced from Sugarcane Bagasse and Hickory Wood”. *Chemical Engineering*, 249. 174-179.
- Daud, M.A., dan Ali S. (2004). “Comparison on Pore Development of Activated Carbon Produced from Palm Shell and Coconut Shell”. *Bioresources Technology*, 93, 63-69.
- Dabrowski, A., Podkoscielny, P., Hubicki, Z., Barczak, M. (2005). “Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon – a Critical Review”. *Chemosphere*, 58, 1049-1070.
- Dukic, Ankica dan Firak. (2011). “Hydrogen Production Using Alkaline Electrolyzer and Photovoltaic (Pv) Module”.
- Egerton, R.F. (2008). *Physical Principal of Microscopy*. New York : Springer.
- Fayaz H., R. Saidur, N. Razali, F.S. Anuar, A.R. Saleman, M.R. Islam. (2012) . “An Overview of Hydrogen as A Vehicle Fuel”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,16. 5511-5528.



- Firak, M. dan Đukic A. (2016). "Hydrogen Transportation Fuel in Croatia: Road Map Strategy". *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Foo, KY dan BH Hameed. (2012). "Microwave-assisted Preparation and Adsorption Performance of Activated Carbon from Biodiesel Industry Solid Residue : Influence of Operational Parameters". *Bioresource Technology*, 103 : 398-404.
- Garcia-garcia, A., Gregorio, A., Boavida, D., Gulyurtlu, I. (2002). "Production And Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in A Pilot Reactor". *National Institute of Engineering and Industrial Technology, Estrada do Paco do Lumiar, 22, edif. J. 1649-038, Lisbon, Portugal*.
- Gimba, C.E., dan Turoti M. (2008). "Optimum Condition for Carbonization of Coconut Shell". *Scientia Africana*, 7, 12-21.
- Guan, Billy T H, Puziah Abdul Latif, dan Taufiq Y H Yap. (2013). "Physical Preparation of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse and Corn Husk And Its Physical and Chemical Characteristics". *Int. J. Eng. Res. & Tech* 2,3.
- Gandana, S. G. (2012). "Pengawasan Giling Cara Hawaii pada Kondisi di Indonesia". *Majalah Perusahaan Gula Th. XIV No. 2 Juni 2012, BP3G Pasuruan*.
- Heimberg, J.A., K.J. Wahl, I.L. Singer dan A. Erdemir. (2001). "Superlow Friction Behavior of Diamond-like Carbon Coating : Time and Speed Effects". *Applied Physics Letter*, 78(17) : 2449-2451.

- Ho, Y.S. (2006). "Review of Second-order Models for Adsorption System". *Journal of Hazardous Materials*, B136 : 681-689.
- Husin. (2007). "Analisis Serat Bagas". Diakses dari <http://www.free.vlsm.org/> pada tanggal 6 Juli 2009.
- Harris, P. (2004). "Fullerene-Related Structure of Commercial Glassy Carbons". *Philosophical Magazine*: 3159-3167.
- Holle, Rizky B., Audy D. Wuntu, Meiske S. Sanj. (2013). "Kinetika Adsorpsi Gas Benzen pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa". *Jurnal MIPA UNSRAT*, 100-104.
- Hirscher, Michael, Barbara Panella, dan Barbara Schmitz. (2009). "Physisorption of Hydrogen on Novel Porous Materials". Max-planck-institut for Metallforschung. Stuttgart, Germany.
- Hirscher M. (2010). "Handbook of Hydrogen Storage: New Material for Future Energy Storage". WILEY-VCH, Jerman.
- IEA. (2013). "Resources to Reserves 2013: Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future". OECD Publishing, Paris.
- Juan-juan, J., J.P. Marco Lozar, F. Suarez Garcia, D. Cazorla Amoros dan A. Linares Solano. (2010). "A Comparison of Hydrogen Storage in Activated Carbons and A Metal-Organic Framework (MOF-5)". *Carbon*, 2906-2909.
- Jorda-Beneyto M, Lozano-Castello D, Suarez-Garcia F, Cazorla-Amoros D, Linares-Solano A. (2008). "Advanced Activated Carbon Monoliths and Activated Carbons for Hydrogen Storage". *Micropor Mesopor Mater*;112:235e42.

- Juliandri F., dan Trihadiningrum Y. (2008). “Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol”. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi*, VII, D2-1-D2-11.
- Jankowska H., Swiatkowski A., dan Choma J. (1991). “Active Carbon, First Edition”. Elcic Horwod Limited, New York.
- Kalderis, D. dan Bethanis, S. (2008). “Production of Activated Carbon from Bagasse and Rice Husk By A Single-Satge Chemical Activation Methode at Low Retention Times”. *Bioresource Technology*, 99(15):6809-6816.
- Larasati, Zarah S. (2016). “Adsorpsi-desorpsi Gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> pada Zeolit-x Berpendukung Serat Gelas”. *Skripsi Jurusan Kimia-FMIPA ITS*, Surabaya.
- Lagergeen, S. (1898). “Zur Theorie Der Sogenannten Adsorption Gel-ester Stoffe, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens”. *Handlingar*, 24 (4) : 1-39.
- Lidya. (2012). “Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia Menggunakan KOH Dan ZnCl<sub>2</sub>”. *Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Indonesia*, Depok.
- Loh, Y.R., D. Sujan, M.E. Rahman, dan C.A. Das. (2013). “Sugarcane Bagasse-The Future Composite Material : A Literature Review”. *Resource, Conservation and Recycling*, 75. 14-22.
- Marsh, H., Rodriguez-Reinoso, F. (2006). “Activated Carbon”. Netherlands : Elsevier Science & Technology Books.

- Miranti, Siti Tias. (2012). “Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent  $H_3PO_4$  dan  $KOH$ ”. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Molina-Sabio, M., Rodriguez-Reinoso, F. (2004). “Role of Chemical Activation in The Development of Carbon Porosity”. *Colloids Surf. A*, 241, 15-25.
- Mui, N.T. (1996). “Effect of Management Practices on Yield and Quality of Sugar Cane and on Soil Fertility, Goat and Rabbit”. *Research Centre, Son Tay, Ha Tay, Vietnam*.
- Mai, Maiké. (2015). “Open Loop Hysteresis”. *Technische Universität Berlin, Jerman*.
- Oskar, Samira dan Johanna. (2010). “SEM-EDX”. Nordic Graduate School in Biofuel Science and Technology. Finlandia.
- Okada, K., Ken-ichi Kuboyama, Takahiro Takei dan Masahiro Yoshimura. (2000). “In situ zeolite Na-X coatings on glass fibers by soft solution process”. *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 37, hal. 99-105.
- Palomino GT, Bonelli B, Otero Area ´n C, Parra JB, Carayol MRL, Armandi M, et al. (2009). “Thermodynamics of Hydrogen Adsorption on Calcium Exchanged Faujasite-Type Zeolites”. *Int J Hydrogen Energy*;34:4371e8.
- Penebar Swadaya. (1992). “Pembudidayaan Tebu di Lahan Sawah dan Tegalán”. Penebar Swadaya : Jakarta.
- Pierson H. O. (1993). “Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes”. *Properties, Processing and Applications*. Noyes Publications. New Jersey.

- Rudatin, S. 1989. "Potensi dan Prospek Pemanfaatan Lignin dari Limbah Industri Pulp dan Kertas di Indonesia". *Berita Selulosa*, 1 : 14-17.
- Rashidi N.A., Suzana Yusup dan Bassim H. Hameed. (2013). "Kinetics Studies on Carbon Dioxide Capture Using Lignocellulosic Based Activated Carbon". *Energy*, 61 : 440-446.
- Sembiring M.T., dan Sinaga T.S. (2003). "Arang aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatan)". *Makalah Jurusan Teknik Industri-FT, USU, Sumatera Utara*.
- Shofa. (2012). "Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi KOH". Fakultas Teknik UI : Jakarta.
- Strobel R., Garche J., Moseley P.T., Jorissen L., dan Wolr G. (2006). "Hydrogen Storage by Carbon Materials". *Journal of Power Source*, 159, 781-801.
- Susanti, Indri. (2016). "Aktivasi Karbon Bertemplat Zeolit-Y dengan KOH untuk Peningkatan Kapasitas Adsorpsi Gas CO<sup>2</sup>". *Skripsi Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya*.
- Subandriyo, M. (2003). "Ph. Dissertation : A Generalized Ono-Kondolattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben. Oklahma". Oklahoma State University.
- Taryana, Meilita. (2002). "Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)". *Skripsi Jurusan Teknik Industri, FT-USU : Sumatera Utara*.
- Teng, H., Hsu, L. (2000). "Influence of Different Chemical Reagents on The Preparation of Activated Carbon from Bituminous Coal". *Fuel Processing Technology*, 64 : 155-166.

- Van den Berg A, Otero Area nC. (2008). "Materials for Hydrogen Storage : Current Research Trends and Perspectives". *Chem Commun* : 668e81.
- Wuntu, Audy D. dan V.S. Kamu. (2013). "Kinetics of Gaseous Toluene Adsorption on Candlenut Shell Activated Carbon". *Jurnal Ilmiah Sains*, 13 : 33-37.
- Yakout, S.M. dan E. Elsherif. (2010). "Batch Kinetics, Isotherm and Thermodynamic Studies of Adsorption of Strontium from Aqueous Solutions onto Low Cost Rice-Straw Based Carbons". *Applied Science Innovations Pvt. Ltd*, 144-153.
- Zulkarnain. (2011). "Material Penyimpan Hidrogen Sistem  $MgH_2$ -SiC yang Dipreparasi melalui Rute Reactive Mechanical Alloying". *Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Indonesia*, Depok.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jombang, 25 Pebruari 1994 dan merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di RA, MI dan MTs Miftahun Najah Mojowarno Jombang, kemudian melanjutkan pendidikan di SMA IT Misykat Al-Anwar Diwek Jombang. Pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Kimia FMIPA-ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN ujian tulis dan terdaftar dengan NRP 1412 100 058. Penulis juga pernah menempuh pendidikan nonformal di Pondok Pesantren Al-Aqobah Diwek Jombang selama tahun 2009-2012, kemudian pada tahun 2012-2015 penulis menjadi santri Pondok Pesantren Muhyiddin Sukolilo Surabaya, dan pada tahun 2015 hingga penelitian ini selesai ditulis penulis tercatat sebagai santri Pondok Pesantren Sirojut Ta'limil Qur'an Rungkut Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi diantaranya Staff Kaderisasi UKM Penalaran ITS, Ketua Umum LDJ CIS-Kimia ITS, dan Tim Pemandu LKMM ITS. Prestasi non-akademik yang pernah diraih oleh penulis adalah PKMK terdani tahun 2014 dan 2015 serta PKMGT tahun 2015. Pada tahun 2015, penulis pernah menjalani kerja praktik di Laboratorium PDAM Kota Surabaya selama satu bulan. Pada masa akhir studi, penulis mengambil bidang minat Kimia Material dan Energi di bawah bimbingan Ibu Nurul Widiastuti, Ph. D dengan penelitian mengenai studi fisisorpsi hidrogen pada karbon aktif dari ampas tebu.

Email : [beonemasrul@gmail.com](mailto:beonemasrul@gmail.com)

No. HP. : 0857 3099 4703